

Vierintämelun vähentäminen

VIEME-tutkimus- ja kehittämisprojektin

esiselvitys





Tekijät (toimielimestä: toimielimen nimi, puheenjohtaja, sihteeri)		Julkaisun laji	
Heikki Tervahattu, Nordic Envicon Oy		Esiselvitys	
Kaarle Kupiainen, Panu Sainio, Mika Räisänen,		Toimeksiantaja	
Tapio Lahti, Liisa Pirjola, Ari Karppinen		Liikenne- ja viestintäministeriö	
		Toimielimen asettamispäivämäärä	
		1.10.2005	
Julkaisun nimi			
Vierintämelun vähentäminen. VIEME-tutkimus- ja kehittämisprojektin esiselvitys			
Tiivistelmä			
<p>Vierintämelun vähentämisestä tutkivan VIEME-hankkeen tavoitteena on lisätä tietopohjaa tieliikenteen meluntorjuntatyötä varten. VIEME-hankkeessa tutkitaan tiepäällysteiden ja renkaiden aiheuttamaa melua ja sen leviämistä tavoitteena melutasojen alentaminen sekä melulle altistumisen vähentäminen ilman, että pölyongelmat lisääntyvät ja liikenneturvallisuus heikkenee. Projektissa tuotetaan uutta tietoa melun ja pölyn muodostuksen ja leviämisen keskinäisyydestä.</p> <p>Projekti käynnistettiin esiselvityksellä, johon on koottu katsaus hiljaisia päällysteitä ja hiljaisia renkaita koskevasta tietämyksestä sekä näiden vaikutuksesta vierintämelun ja katupölyn muodostumiseen sekä siitä, mihin esiselvityksen jälkeen käynnistettävää jatkotutkimusta suunnataan. Esiselvitys osoittaa, että meluntorjuntatyön tueksi tarvitaan monilla osa-alueilla lisätietoa hiljaisten päällysteiden ja renkaiden ominaisuuksista, mahdollisuuksista ja vaikutuksista. Syksyllä 2005 tehdyt tutkimukset osoittivat, että suunniteltu mittausjärjestelmä, jonka perustana on melumittaus NOTRA-vaunulla ja pölymittaus Nuuskija-autolla, toimii hyvin.</p> <p>Esiselvitys ja ensimmäiset tutkimukset antoivat aiheutta täydentää tutkimushanketta seuraavilla tavoilla:</p> <ul style="list-style-type: none">- Esiselvitys toi korostetusti esille tarpeen suorittaa päällysteiden melututkimuksia eri vuodenaikoina ja erilaisissa sääoloissa.- Suoritetut mittaukset antoivat viitteitä siitä, että eri talvirengastyypin meluominaisuuksien erot saattavat olla oletettua suuremmat. Tämä antaa aiheen panostaa tähän tutkimussektoriin.- VIEME-hankkeeseen on tarpeellista sisällyttää ohiajomittauksia, joissa mitataan melupäästöä ja -tasoa samasta ajoneuvosta erilaisilla renkailla varustettuna.- Pitemmän ja monipuolisemman tutkimusaineiston avulla arvioidaan saatavan selvyyttä hiljaisten päällysteiden pölyn muodostukseen. On tarpeen tehdä alun perin suunniteltua enemmän tutkimuksia soveltuvisissa HILJA-projektin kohteissa sekä jatkaa VIEME-hankkeen jälkeenkin mittauksia nyt aloitettavissa uusissa kohteissa.- Tehdyt mittaukset antavat aiheutta selvittää hiljaisten päällysteiden ja eri rengastyypin merkitystä pölyn muodostuksessa ja päällysteiden puhdistettavuudessa.- VIEME-hankkeen tulosten perusteella on mahdollista kehittää liikenteen melu- ja pölyongelmia koskevaa ekoindikaattoritarkastelua. Näin saadaan työkaluja, joiden avulla nämä ympäristökysymykset voidaan sisällyttää hankintamenettelyprosessiin.			
Avainsanat (asiasanat)			
Vierintämelu, katupöly, hiljaiset päällysteet, hiljaiset renkaat			
Muut tiedot			
Yhteyshenkilö/LVM: Risto Saari			
Sarjan nimi ja numero		ISSN	ISBN
Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 12/2006		1457-7488 (painotuote) 1795-4045 (verkkajulkaisu)	952-201-522-9 (painotuote) 952-201-523-7 (verkkajulkaisu)
Kokonaissivumäärä	Kieli	Hinta	Luottamuksellisuus
68	suomi	15 €	julkinen
Jakaja		Kustantaja	
Oyj Edita Abp		Liikenne- ja viestintäministeriö	



Författare (uppgifter om organet: organets namn, ordförande, sekreterare)		Typ av publikation	
Heikki Tervahattu, Nordic Envicon Ab		Förutredning	
Kaarle Kupiainen, Panu Sainio, Mika Räisänen,		Uppdragsgivare	
Tapio Lahti, Liisa Pirjola, Ari Karppinen		Kommunikationsministeriet	
		Datum för tillsättandet av organet	
		1.10.2005	
Publikation			
Minskning av buller och rulljud från vägtrafiken (VIEME)			
Referat			
<p>Kommunikationsministeriet inledde hösten 2005 ett projekt för att minska rulljudet (så-kallade VIE-ME-projektet), dvs. bullret från vägtrafiken, och för att öka kunskapsbasen i avsikt att bekämpa bullret. Som en del av VIEME-projektet undersöks hur buller och rulljud från vägbanor och däck kommer till och hur de sprids. Målet är att sänka dels bullernivåerna, dels antalet personer som exponeras för buller utan att för den skull öka dammproblemen eller äventyra trafiksäkerheten. Inom projektet produceras ny kunskap om hur buller och damm alstras och sprids samt om sambandet mellan dem.</p> <p>Projektet inleddes med en förundersökning som nu är klar. I den ingår en översikt av tysta beläggningar och tysta däck, deras inverkan på uppkomsten och spridningen av rulljud och gatudamm samt rekommendationer om hur den fortsatta undersökningen skall fokuseras. Enligt förundersökningen är det viktigt att bullerbekämpningen stöds av information från många olika delområden, t.ex. kunskap om de tysta beläggningarnas och däckens egenskaper samt effekterna av dem. De undersökningar som utfördes hösten 2005 visar att mätsystemet som bygger på bullermätning med specialsläpvagnen Notra och mätning av dammhalter med luftkvalitetsbilen Nuuskija fungerar bra.</p> <p>På basis av förundersökningen och de första forskningsresultaten föreslår arbetsgruppen att projektet kompletteras med följande forskningsobjekt:</p> <ul style="list-style-type: none">– buller från vägbeläggningar under olika årstider och vid olika väderförhållanden.– skillnader mellan bulleregenskaperna hos olika typer av vinterdäck.– bullerutsläpp och -nivåer vid omkörning med samma fordon men med olika däck.– en långtidsundersökning med ett större och mer varierat forskningsmaterial för att få klarhet i hur olika slags tysta beläggningar alstrar damm. Det ursprungliga forskningsområdet utvidgas och mätningarna fortsätts även efter att VIEME-projektet har slutförts.– skillnader i dammalstring från och rengöring av olika slag av tysta beläggningar och däck. <p>Resultaten av VIEME-projektet kan utnyttjas för att utveckla de ekologiska indikatorerna vid undersökningen av buller- och dammproblem. Samtidigt skapas också nya verktyg för att inkludera miljöaspekterna till en oskiljaktig del av upphandlingsförfarandet.</p>			
Nyckelord			
rulljud, buller, gatudamm, tyst beläggning, tysta däck			
Övriga uppgifter			
Kontaktperson vid kommunikationsministeriet: Risto Saari.			
Seriens namn och nummer		ISSN	ISBN
Kommunikationsministeriets publikationer 12/2006		1457-7488 (trycksak) 1795-4045 (nätpublikation)	952-201-522-9 (trycksak) 952-201-523-7 (nätpublikation)
Sidoantal	Språk	Pris	Sekretessgrad
68	finska	15 €	offentlig
Distribution		Förlag	
Edita Publishing Ab		Kommunikationsministeriet	



Authors (from body; name, chairman and secretary of the body) Heikki Tervahattu, Nordic Envicon Ltd.		Type of publication Preliminary study	
Kaarle Kupiainen, Panu Sainio, Mika Räisänen,		Assigned by Ministry of Transport and Communications	
Tapio Lahti, Liisa Pirjola, Ari Karppinen		Date when body appointed 1 October 2005	
Name of the publication Reduction of rolling noise – preliminary study (VIEME)			
Abstract <p>In autumn 2005 the Ministry of Transport and Communications of Finland launched a rolling noise reduction project (VIEME) with the aim of gathering data on noise abatement in road transport. The project examines noise from road surfaces and tyres as well as dispersion of noise. The purpose of the project is to reduce noise levels and exposure to noise without increasing dust problems or decreasing traffic safety. The project will generate new data on the correlation between the creation and dispersion of noise and dust.</p> <p>The now completed preliminary study, which launched the project, is an overview of data on low-noise road surfaces and tyres as well as on their effect on the creation of rolling noise and road dust. It also discusses how further studies on the subject should be conducted. Furthermore, it shows that in many areas more information is needed on the qualities, possibilities and impacts of low-noise surfaces and tyres to support noise abatement work. Studies of autumn 2005 showed that the planned system based on noise measurement by the noise trailer NOTRA and dust measurement by the mobile laboratory “Sniffer” works well.</p> <p>The preliminary study gave reason to complete the project as follows:</p> <ul style="list-style-type: none">- Surface noise studies should be performed in different times of the year and in different weather conditions.- The differences between winter tyre types in terms of noise may be greater than expected, which gives impetus to focus on this sector.- Pass-by, including measurements of vehicle noise emissions and levels when fitted with different tyres, should be carried out.- A more extensive and versatile research data is needed to clarify the dust creation of low-noise road surfaces. More studies on applicable sectors of the HILJA project should be performed and measurements that have now been started within the VIEME project should be continued even after the completion of the project.- The importance of low-noise surfaces and different tyre types to dust creation and surface cleanability should be studied.- It is possible to develop the eco-indicator in problems of traffic noise and dust. This would provide tools to include these environmental questions into acquisition processes.			
Keywords Rolling noise, road dust, low-noise surfaces, low-noise tyres			
Miscellaneous Contact person at the Ministry: Risto Saari			
Serial name and number Publications of the Ministry of Transport and Communications 12/2006		ISSN 1457-7488 (printed version) 1795-4045 (electronic version)	ISBN 952-201-522-9 (printed version) 952-201-523-7 (electronic version)
Pages, total 68	Language Finnish	Price €15	Confidence status Public
Distributed by Edita Publishing Ltd		Published by Ministry of Transport and Communications	

SISÄLLYSLUETTELO

Termit ja käytetyt lyhenteet	4
ESIPUHE	5
1. Johdanto	6
1.1. Liikennemelun haitat kasvavat	6
1.2. Ilman hiukkaset toinen suuri liikenteen ympäristöongelma	8
2. Vierintämelu	10
2.1. Melun ominaisuuksista	10
2.2. Rengasmelun synty	11
2.2.1. Rengasmelun vähentäminen tuotekehityksen avulla	11
2.2.2. Rengasmeluntorjunta	13
2.3. Rengasmelun mittaaminen	14
2.4. Hiljaiset päällysteet	15
2.4.1. Mikä on hiljainen päällyste?	15
2.4.2. Haitat tavallisiin päällysteisiin verrattuna	17
2.4.3. Edut tavallisiin päällysteisiin verrattuna	17
2.4.4. Liikenneturvallisuusvaikutukset	17
2.5. Meluun vaikuttavat päällysteen ominaisuudet	19
2.5.1. Tienpinnan aallonpituudet	20
2.5.2. Päällysteen amplitudi	20
2.5.3. Kiviaineksen muoto	21
2.5.4. Sideaine ja päällysteen kovuus	22
2.5.5. Päällysteen lämpötilan ja värin vaikutus meluun	22
2.5.6. Äänen huokoisuus ja absorptio	23
3. Yleisimmät asfalttityypit ja asfaltin kulumiseen vaikuttavat tekijät	23
3.1. Tausta	23
3.2. Asfaltin kiviaines	25
3.3. Asfaltin kulutustestit	27
3.4. Asfalttityypit	28
3.5. Asfalttibetoni (AB)	28
3.6. Kivimastikiasfaltti (SMA-asfaltti)	28
3.7. Hiljainen asfaltti	29
4. Melun leviäminen ja mallinnus	30
4.1. Osion yleiskuvaus	30
4.2 HILJA-projektin jatko	31
4.3. Laskentamallit	31
4.3.1. Liittyminen VIEME-projektiin	31
4.3.2. Pohjoismainen tiemelumalli	32
4.3.3. Nord 2000	32
4.3.4. Harmonoise	32
4.3.5. Lähtöarvojen muodostaminen	33
4.4. Mittausmenetelmät	33
4.4.1. Nordtest NT ACOU 109	33
4.4.2. Erityismenetelmät osalähteiden emission tunnistamiseksi	34
4.4.3. Tienpäällysteen absorptio (SILVIA)	34
4.5. Leviämislaskennat ja -mittaukset	35
5. Katu- ja tiepöly	35

5.1. Pölyn muodostuminen ja lähteet	35
5.2. Asfaltin kiviaineksen ja renkaiden vaikutus pölyn muodostukseen	40
6. Pienhiukkasten ja katupölyn mittaaminen	41
6.1. Nuuskijan käyttö liikenteen hiukkastutkimuksissa	41
6.2. Pölyn leviämisen tutkimus Nuuskijalla	42
6.3. Katupölymittaukset Nuuskijalla	44
7. Pienhiukkasten leviämisen mallinnus	45
7.1. Paikallisen mittakaavan mallinnus	45
7.1.1. Tilastolliset analyysit	45
7.1.2. Leviämisen mallinnus sekä mallitulosten vertailu mittauksiin	45
7.1.3. Leviämismallien ja aerosoliprosessimallien yhdistäminen paikallisessa skaalassa	47
7.2. Leviämismallinnus erilaisissa liikenneympäristöissä	47
7.3. Yhteenveto hiukkasmallinnuksesta	48
8. Johtopäätökset ja suositukset	48
 Kirjallisuusluettelo	 52
 LIITE 1. Vierintämelun mittausmenetelmistä	 57

Termit ja käytetyt lyhenteet

- Aallonpituus* – Aallon pituus vaiheesta takaisin samaan vaiheeseen
Amplitudi – Aaltoliikkeen tai värähdysliikkeen laajuus
A-painotus – Korvan kuuloaistimukseen perustuva äänenpainotason korjaus
Asfalttibetoni (AB) – selitetty luvussa 3.5.
ASTO – 1990-luvulla toteutettu asfalttipäällysteiden tutkimusohjelma
CB – Coast-By, rullausmenetelmä
CPB – Controlled Pass-By, kontrolloitu ohiajomenetelmä
CPX – Close Proximity, vaunumittausmenetelmä
Desibeli – dB, Äänenpaineen yksikkö (logaritminen)
dB(A) – A-painotettu desibeliarvo
Hapan kivi - kivi, joka sisältää runsaasti piidioksidia, SiO_2 (>63%)
Harmonoise – Selostettu luvussa 4.3.4.
Impaktori – Ilman hiukkastutkimuksissa käytetty laite, jossa hiukkasvirtauksen tiettyä kokoluokkaa suuremmat hiukkaset kerätään alustalle, joita voi olla useita sarjoja eri kokoluokkien hiukkasia varten
Impedanssi - Sähköinen vaihtovirtavastus (tunnus Z), kokonaisvastus
Inertti - Tarkoittaa ainetta, yleensä kaasua, joka ei reagoi muiden aineiden kanssa eli on kykenemätön muodostamaan kemiallisia yhdisteitä
Intermediäärinen kivi - kivi, joka sisältää 52-63 % piidioksidia, SiO_2
Juonikivi - kallioperän rakoon tai murrokseen tunkeutuneesta kivisulasta eli magmasta syntynyt kivi
Kuulamyyllyarvo – Kuvaa asfaltin kiviaineksen kykyä vastustaa nastarenkaiden kulutusta
 $L_{Aeq7-22}$ – Päiväajan (klo 7-22) A-painotettu keskiäänitaso
 $L_{Aeq22-7}$ – Yöajan (klo 22-7) A-painotettu keskiäänitaso
Litteysluku – Kiviaineksen raemuotoa kuvava luku
Melunmittausmenetelmä - Standardin tai sellaisen luonnoksen tai vallitsevan käytännön mukaan kehittynyt toimintatapa, jonka lopputuloksena saadaan mitattavaa ilmiötä (akustisesti) kuvaavia suureita
NOTRA – Noise trailer, melunmittausvaunu, Teknillinen korkeakoulu, Auto- ja työkonetekniikan laboratorio
Nuuskija – Liikkuva ilmanlaadun mittausasema, Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia, Tekniikka ja liikenne, Autolaboratorio
Pascal (Pa) – ilmanpaineen yksikkö; ilmanpaineen yksikköinä käytetään myös baareja (bar) tai elohopeamillimetrejä (mmHg); $100 \text{ kPa} = 1 \text{ bar} = 750 \text{ mmHg}$
PM – Particulate matter, ilmassa leijuvat hiukkaset
 PM_{10} – Hengitettävät hiukkaset, aerodynaaminen läpimitta $<10 \mu\text{m}$ ($=0.01 \text{ mm}$)
 $PM_{2.5}$ – Pienhiukkaset, aerodynaaminen läpimitta $<2.5 \mu\text{m}$
Profilometri – Kaistan poikkiprofiilin määrittävä yleensä lasermittaukseen perustuva kenttämittauslaite
Puolipinnallinen kivi - kivisulasta eli magmasta kiteytynyt kivi, joka syntynyt lähellä maan pintaa
Referenssipäällyste – Vertailupäällyste
SMA-päällyste – Split Mastic Asphalt, kivimastiksiasfaltti, selitetty luvussa 3.6.
SPB – Statistical Pass-By, tilastollinen ohiajomittausmenetelmä
Vierintämelu - Puhekielessä myös pelkkä rengasmelu, tarkoittaa renkaan ja tien kosketuksen seurauksena syntyvää melua. Rengas tai päällyste yksinään eivät tuota melua, vaan sen syntyminen edellyttää niiden liikettä toistensa suhteen.
Vulkaniitti - tulivuoren purkauksessa syntynyt kivi

ESIPUHE

Huhtikuussa 2004 valmistui ympäristöministeriön asettaneen työryhmän ehdotus meluntorjunnan valtakunnallisiksi linjauksiksi ja toimintaohjelmaksi (Ympäristöministeriö, 2004). Ohjelmassa todettiin, että kansallisessa meluntorjuntatyössä keskeisellä sijalla on hiljaisten päällysteiden ja hiljaisten renkaiden käytön edistäminen niin, että muut ympäristö- ja liikenneturvallisuushaitat eivät lisäänty. Lisätäkseen tietopohjaa hiljaisten päällysteiden ja hiljaisten renkaiden käyttömahdollisuuksista ja vaikutuksista, liikenne- ja viestintäministeriö käynnisti syksyllä 2005 hankkeen vierintämelun vähentämisestä (VIEME –projekti - Vierintämelun vähentämistä koskeva tutkimus- ja kehittämishanke).

Hankkeen ensimmäisessä vaiheessa on tehty tämä esiselvitys, johon on koottu tilannekatsaus hiljaisista päällysteistä ja hiljaisista renkaiden koskevasta tietämyksestä sekä niiden vaikutuksesta vierintämelun ja katupölyn muodostumiseen. Esiselvityksen perusteella käynnistetään osana INFRA 2010 –kehitysohjelmaa¹ laajempi tutkimus- ja kehittämishanke, jossa tutkitaan tiepäällysteiden ja renkaiden aiheuttamaa melua ja sen leviämistä tavoitteena melutasojen alentaminen ja melulle altistumisen vähentäminen ilman, että pölyongelmat lisääntyvät ja/tai liikenneturvallisuus heikkenee. Projektissa tutkitaan siten melun ja pölyn muodostusta ja leviämistä samanaikaisesti ja samoissa kohteissa. Siinä tuotetaan uutta tietoa näiden kahden ongelman keskinäisyydestä ja niiden muodostamasta kokonaisuudesta.

Esiselvityksen yhteydessä tehtiin INFRA 2010-kehitysohjelmalle ns. Feasibility Study, jossa tutkittiin tämän hankkeen soveltuvuutta ko. ohjelmaan. Tällöin projektia tarkasteltiin tienpidon hankintojen elinkaaritarkastelujen viitekehyksessä. VIEME-projektin kahta keskeistä ympäristökiteijää, tieliikenteen melu- ja pölyongelmaa, käsiteltiin ekoindikaattoreina. FS-arvioinnin tuloksia käsitellään esiselvityksen johtopäätöksissä.

VIEME-projektin tutkimukset käynnistettiin syksyllä 2005 kahdella mittausarjalla, jotka toteutettiin 11.10. ja 1.-2.11. Molemmilla kerroilla mitattiin vierintämelua NOTRA-vaunulla sekä kadulta nousevaa hengitettävää pölyä Nuuskija-autolla kahdella hiljaisella ja kolmella tavallisella päällysteellä. Jokaisessa kohteessa mittaukset suoritettiin kesä-, kitka- ja talvirenkailla. Tulokset olivat erittäin mielenkiintoisia ja niistä tehdyt johtopäätökset ovat esiselvityksen lopussa.

Helsingissä 10.2.2006

Risto Saari

Ohjausryhmän puheenjohtaja

Ylitarkastaja

Liikenne- ja viestintäministeriö

Heikki Tervahattu

Projektipäällikkö

FT, dosentti

Nordic Envicon Oy

¹ Liikenne- ja viestintäministeriön liikenneväyläneuvottelukunnan käynnistämä Infra 2010 -kehitysohjelma infra-alan tuottavuuden ja vetovoimaisuuden lisäämiseksi. Vuosina 2005-2008 toteutettavan ohjelman tarkoitus on koota infra-alan tärkeät tutkimus- ja kehitysalueet kokonaisuudeksi, jolla pyritään edistämään alan kilpailukykyä koko Suomessa.

1. Johdanto

1.1. Liikennemelun haitat kasvavat

Euroopan komission tulevaisuuden melupolitiikkaa koskevassa Vihreässä kirjassa (Komission vihreä kirja, 1996) on todettu, että samaan aikaan kun valitukset muista ympäristöongelmista ovat EU:n tasolla kääntyneet laskuun, ympäristömelua koskevat valitukset ovat jatkuvasti lisääntyneet. Euroopan unionin alueella (EU15, uudet jäsenvaltiot puuttuvat) arvioidaan 80 miljoonan ihmisen altistuvan liian voimakkaalle melulle, joka aiheuttaa unihäiriöitä ja/tai muita terveyshaittoja (Research for a Quieter Europe in 2020, 2004; Goetzke, 2005). Lisäksi 170 miljoonaa ihmistä asuu ”harmailta vyöhykkeillä”, joilla melusta aiheutuu vakavaa haittaa. Noin 120 miljoonaa ihmistä eli 30 prosenttia väestöstä altistuu tieliikenteen melulle, joka päiväaikana ylittää 55 dB:n melutason. Melusta koituvat yhteiskunnalliset kustannukset arvioidaan kohoavan 0,2-2 prosenttiin bruttokansantuotteesta ja olevan alimmankin arvion mukaan yli 12 miljardia euroa vuodessa. Uudet jäsenmaat kohottavat merkittävästi tätä summaa. Suomeen sovellettuna EU:n arvio ympäristömelun, lähinnä liikennemelun aiheuttamista yhteiskuntataloudellisista kustannuksista tarkoittaisi siten vähintäänkin 300 miljoonaa euron vuotuisia kustannuksia.

Suomessa asuu 800 000 – 900 000 ihmistä, joissa päiväajan ympäristömelu on yli 55 dB (Liikonen ja Leppänen, 2005). Se on noin 17 % Suomen asukkaista. Heistä noin 90 % (750 000) altistuu tie- ja katuliikenteen melulle. Uusimmat tiedot taajamien katuliikenteen melulle altistuvien määrästä ovat aikaisemmin arvioitua pienemmät. Taajamien tie- ja katuliikenteen melulle altistuneiden määrän väheneminen johtuu kuitenkin enemmänkin arviointi- ja laskentamenetelmien eroista kuin siitä, että melutilanteessa olisi tapahtunut merkittävää parantumista. Erityisesti taajamissa ja vilkkaiden pääteiden varsilla altistutaan lähes ympäri vuorokauden tie- ja katuliikenteen melulle. Vaikka pahimmissa kohteissa on meluntorjuntatoimia tehty, tie- ja katuliikennemelulle altistuvien määrä on edelleen kasvanut. Esimerkiksi Espoossa melualueilla asuvien ihmisten määrä on kasvanut 1990-luvulla lähes 70 %. Melualtistuksen kasvu taajamissa on pääosin johtunut tie- ja katuliikenteen määrän sekä ajonopeuksien kasvusta.

Vaikka samat tekijät lisäävät liikenteen aiheuttamaa ilman saastumista, on samaan aikaan kuitenkin pystytty liikenneperäistä ilman saastumista vähentämään pakokaasupäästöjen osalta. Myös autojen moottorin melua on rajoitettu, mutta sen sijaan

renkaan ja tien kosketuksesta syntyvän vierintämelun suhteen ei edistystä ole tapahtunut, vaikka juuri se on henkilöautoilla huomattavasti moottorimelua suurempi nopeuden noustessa yli 40 km/t.

Meluntorjuntatyön ensisijaisena tavoitteena on vähentää melupäästöjä jo lähteessä. Ajoneuvojen moottorien ja renkaiden sekä muiden laitteiden melupäästöjä on säännelty EY:n sisämarkkinalainsäädännöllä. Kansallisia keinoja melupäästöjen alentamisessa ovat erityisesti vierintämelua vähentävät hiljaiset päällysteet ja renkaat. Panostaminen tierakenteisiin on tärkeää etenkin tiiviissä kaupunkirakenteessa, jossa ei ole riittävästi tilaa torjua katuliikenteen melua perinteisten esteratkaisujen avulla. Kulttuurimaisemaan sekä loma-asutus- ja luonnonalueille hiljaiset päällysteet ovat maiseman säilymisen kannalta usein onnistuneempi ratkaisu kuin meluesteiden rakentaminen.

Arviot melun vähentämisen mahdollisuuksista vaihtelevat. TØI:n (Transportøkonomisk institutt - Amundsen ja Klæboe, 2005) arvion mukaan nykyteknologialla voitaisiin 5 vuoden kuluessa vähentää melua moottoriteknisillä ratkaisuilla 1-2, renkailla 2-3, nopeusrajoituksilla 2-3 ja tiepäällysteillä 2-4 dB(A) (kts. myös Research for a Quieter Europe, 2004). 10-15 vuoden kuluessa vastaavat vähennysmahdollisuudet olisivat: moottorilla 3-4, renkailla 3-5 ja tiepäällysteillä 6-8 dB(A) (nopeusrajoituksilla ei lisämahdollisuuksia). Koeolosuhteissa päästään huomattavasti suurempiinkin vähennyksiin. Suomessa voi nastarenkaiden korvaaminen kitkarenkailla tuoda merkittävää lisäpotentiaalia.

EU-maiden meluntorjuntaohjelmista mainittakoon Alankomaiden ohjelma (PIG), jonka tavoitteena on vähentää >70 dBA melulle altistuvien asuntojen määrää 100 %, >65 dBA tasolta 90 % ja >60 dBA tasolta 50 % vuoteen 2030 mennessä (Amundsen ja Klæboe, 2005). Vuoteen 2010 mennessä arvioidaan Alankomaissa voitavan vähentää tiemelua 12 dBA, mistä 6 dBA tiepäällysteillä, 3 dBA ajoneuvoilla/renkailla ja 3 dBA meluesteillä. Ruotsin hallitus on asettanut tavoitteeksi vähentää melulle altistuvien ihmisten määrää vuoden 1998 tasosta 5 prosentilla vuoteen 2010 mennessä. Norjan hallituksen tavoite on vähentää meluhaittoja 25 prosenttia vuodesta 1999 vuoteen 2010 mennessä (Amundsen ja Klæboe, 2005).

Liikenne ja viestintäministeriö on meluntorjunnan kehittämistä koskeva työryhmän esitysten pohjalta asettanut tavoitteeksi (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2005), että vuonna 2020 päiväajan yli 55 dB-melualueilla asuvien ihmisten määrä on vähintään 20 % pienempi

kuin vuonna 2003. Yleisten teiden yli 55 dB melualueilla asuvien määrän tulisi olla noin 15 % pienempi kuin vuonna 2003, jotta kokonaistavoite saavuttaisiin. Vuoteen 2010 mennessä noin 60 000 asukkaan osalta olisi liikennemelulle altistumista kyettävä vähentämään alle 55 dB ($L_{Aeq7-22}$).

Suomen ympäristöministeriön asettama meluntorjunnan kehittämistä koskeva työryhmä esitti huhtikuussa 2004 valmistuneessa toimenpideohjelmassaan 33 toimenpidettä, joista 10 asetettiin etusijalle sillä perusteella, että niillä voidaan vaikuttaa ympäristömelutilanteeseen riittävän laajasti ja tehokkaasti ja ne voidaan toteuttaa kansallisesti ja paikallisesti (Ympäristöministeriö, 2004). Näiden tärkeimpien toimenpiteiden joukkoon kuuluu hiljaisten tiemateriaalien ja renkaiden käytön edistäminen ja laajentaminen. Tarkoitus on, että niiden käyttö ei vaaranna liikenneturvallisuutta, taajamien ilmanlaatua tai pohjavesien suojelua.

Hiljaisten päällysteiden tuotekehittelyssä on tapahtunut merkittävää edistystä, mikä on tehnyt niistä realistisen päällystevaihtoehdon. Tässä teknologiakehitystyössä panostetaan melun vähentämisen lisäksi päällysteiden kestävyys- ja parempaan kustannustehokkuuteen. Sama koskee hiljaisten renkaiden kehittämistyötä. Kansallisesti tärkeä kysymys on, miten voitaisiin vähentää erityisesti nastarenkaiden aiheuttamaa rengasmelua. Suomalainen ja mahdollisesti yhteispohjoismainen tuotekehittely niin tiemateriaalien kuin renkaiden osalta voi johtaa uusiin markkina- ja vientimahdollisuuksiin.

1.2. Ilman hiukkaset toinen suuri liikenteen ympäristöongelma

Meluntorjunnan toimintaohjelmassa (Ympäristöministeriö, 2004) tarkasteltiin eri vaihtoehtoja myös ilmanlaadun kannalta. Nykyisessä toimintamallissa arvioidaan hiljaisten päällysteiden hitaan kasvun lisäävän paikallisesti hieman hiukkaspäästöjä. Työryhmän tavoitevaihtoehdossa hiljaisten päällysteiden laajamittainen käyttö lisää hiukkaspäästöjä enemmän kuin muissa vaihtoehdoissa. Tällä voi olla vaikutusta taajamien ilmanlaatuun. Melusteiden laajamittainen rakentaminen mahdollistaisi asuntojen rakentamisen lähemmäksi suuria liikenneväyliä, mikä voi lisätä altistumista tieliikenteen päästöille enemmän kuin muissa vaihtoehdoissa. Melusteiden ja renkaiden tuotekehittelyn avulla voidaan pyrkiä pienentämään hiukkaspäästöjen kasvua.

Toistaiseksi hiljaisten päällysteiden vaikutuksia ilmanlaatuun ei ole tutkittu. On oletettu, että mikäli tällaiset päällysteet kuluvat muita päällysteitä nopeammin, niistä muodostuu myös enemmän katupölyä. Ei kuitenkaan ole selvillä, minkä verran kyseinen

pöly sisältää ns. hengitettäviä hiukkasia (aerodynaaminen halkaisija $<10\ \mu\text{m}$). Tämä hiukkaskoko (PM_{10}) on lähtökohtana myös EY:n ilmanlaatudirektiivissä, joka on saatettu Suomessa voimaan valtioneuvoston asetuksella 711/2001. Asetuksen raja-arvotaso ($50\ \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{vrk}$) ylittyy yleisesti pääkaupunkiseudulla ja muissa Suomen kaupungeissa. Varsinainen raja-arvon ylitys edellyttää vuodessa em. tason ylittävän 35 vuorokautena. Näitä ylityksiä esiintyy pahimmilla alueilla. Vaikeita pölyongelmia on sellaisillakin katuosuuksilla, joilla on tarvetta rakentaa hiljaisia päällysteitä. Katupölyn määrää pitää siten vähentää eikä ole mahdollista ottaa käyttöön päällysteitä, joista tulee enemmän hiukkasia.

Oleellista on käyttää päällysteitä, jotka kuluvat vähän ja aiheuttavat silloin myös vähän pölypäästöjä. Toisaalta nämä kulutuskestävät päällysteet voivat olla hankalia puhdistaa. Varsinkin joillakin kivillä tuntuu olevan enemmän ongelmia kiviainesrakeiden ja bitumin tartunnan ja myös pinnan vaurioitumisen kanssa (liittyy asfalttien ikääntymiseen), mikä vaikeuttaa edelleen niiden puhdistettavuutta.

Päällysteiden lisäksi VIEME-projektissa tutkitaan mahdollisuuksia vähentää vierintämelua renkaiden avulla. Seuraavilla renkaan ominaisuuksilla on vaikutusta melun voimakkuuteen:

- Renkaan leveys
- Kovuus (kova on meluisampi)
- Renkaan kuviointi
- Urasyyvyys (suurempi urasyyvyys lisää melua)
- Nastat lisäävät melua

Rengasleveys on kasvanut 15 viime vuoden aikana noin $2\ \text{mm}/\text{vuosi}$. Leveyden lisääntyessä $10\ \text{mm}$ kasvaa melutaso $0,2\text{--}0,4\ \text{dBA}$. Eri rengastyypeillä saattaa olla jopa $10\ \text{dBA}$:n ero melutasossa (Amundsen ja Klæboe, 2005). Nastat voivat vielä tuntuvasti suurentaa eroja. EY:n rengasmeludirektiivi (2001/43/EY) asettaa vuoteen 2011 ulottuvat säädökset sellaiselle tasolle, etteivät ne edellytä kehitystyötä. Esimerkiksi Saksassa vuonna 2002 testattiin 82 rengastyyppeä ja kaikki täyttivät nämä melutasovaatimukset.

Seuraavassa tarkastellaan lähemmin liikenteen melu- ja pölyongelmia sekä hiljaisten päällysteiden ja renkaiden vaikutuksia niihin.

2. Vierintämelu

2.1. Melun ominaisuuksista

Ääni on ilmahiuksasten värähtelyä, joka etenee aaltoliikkeenä. Äänitasomittarissa oleva mikrofoni mittaa paineen vaihteluita, joka on erittäin pientä ilmanpaineeseen verrattuna. Normaali ilmanpaine on noin 100 kPa ja sen miljoonasosan vaihtelu (100 mPa) vastaa äänenvoimakkuutta 74 dB. Fysikaalisesti ääntä voidaan kuvata äänen painetason (dB) ja taajuuden (Hz) kautta.

Melulla tarkoitetaan ääntä, jonka ihminen kokee epämiellyttävänä tai häiritseväenä tai on muulla tavoin hänen terveydelleen tai hyvinvoinnilleen haitallista. Ääni on pelkkä fysikaalinen käsite kun melu taas sisältää subjektiivisen luonnehdinnan. Laissa melulla tarkoitetaan terveydelle haitallista, ympäristön viihtyisyyttä merkityksellisesti vähentävää tai työntekoa merkityksellisesti haittaavaa ääntä taikka siihen rinnastettavaa tärinää (Meluntorjuntalaki 392/87).

Ääni on sekoitus eri taajuuksista ja äänenpainetasoista. Tämä sekoitus määrää ”äänen värin”. Ihmisen kuulo ei ole yhtä herkkä matalille ja korkeille äänille. Yleensä maaliikenneperäisen melun kohdalla tämä huomioidaan käyttämällä A-painotettua äänenpainetasoa dB(A). Äänen tasoja käsitellään desibeliasteikolla, mikä voi aiheuttaa sekaannuksia. Noin kolmen desibelin ero merkitsee tason kaksinkertaistumista tai viivamaisen melulähteen siirtymistä kaksinkertaisen matkan päähän. Ihminen kokee noin 10 desibelin lisäyksen äänen voimakkuuden kaksikertaistumisena.

Liikennemeluun kokonaisuudessaan voidaan vaikuttaa (SILVIA² 1, 2005)

- Renkaalla
- Ajoneuvolla

² SILVIA viittaa SILVIA-projektin (Sustainable road surfaces for traffic noise control, Contract number GRD2-2000-31801-SI2.335701) tuloksiin ja dokumentteihin. SILVIA oli EU-projekti, aktiivinen 1.8.2002 – 31.7.2005. Tutkimustulokset ovat yleisessä tasolla sovellettavissa Suomeen mitä tulee melulähteiden keskinäisiin suhteisiin, melun torjuntatoimien vaikutuksiin ja kokonaisongelmakenttään yleensä. Tulosten yksityiskohtainen sovellettavuus tai edes niiden perusteella tehtävät Suomea koskevat johtopäätökset voivat olla epävarmoja johtuen mm. erilaisesta ilmastosta, erityyppisistä päällysteistä, liikennemäärien vaihtelusta, talvikunnossapidon vaatimuksista jne. SILVIAssa ei ollut suomalaisia mukana. Projektin kotisivut ovat osoitteessa www.trl.co.uk/sivia

- Toimintaolosuhteilla
- Paikallisilla olosuhteilla
- Liikenteen ohjauksella

Näiden osa-alueiden rajat ovat usein päällekkäisiä. Myös toimenpiteiden maksaja voi olla joko yksityinen henkilö, yritys tai julkinen sektori. Lisäksi mahdollisten oheiskustannuksien kuten muuttuvien nopeusrajoitusten vaikutus matka-aikaan ja matka-ajan arvottaminen on vaikeaa. Hiljainen päällyste kuuluu lähinnä toimintaolosuhteisiin. Paikallisella olosuhteella voidaan tarkoittaa hidastetöyssyä tai sillan liikuntasaumaa. Meluntorjunnassa usein eri keinojen samanaikainen käyttäminen on tehokkainta. Hiljaisten päällysteiden juuri rengasmeluun painottuva vaikutusmekanismi ja niiden sovellettavuus eri kohteisiin tekevät niistä monipuolisen työkalun meluntorjuntaan.

Joidenkin liikenteen ohjauskeinojen, kuten hidastetöyssyjen tai nopeuden hillitsemiseksi jyrskytyjen urien, vaikutus saattaa olla voimakkaasti melua lisäävä. Melun vähentämisessä mahdollisuus sujuvaan ja jouhevaan ajamiseen tasaisella ja kohtuullisella nopeudella on välttämätön edellytys. Huomattavaa on, että informaatioteknisiä tai automaattisen liikenteenohjauksen keinoja ei juuri ole kokeiltu melun torjunnassa (SILVIA 2, 2005). Näiden keinojen tehokkuudesta ei siis ole tietoa ja siellä voi olla mahdollisesti vielä tunnistamattomia tehokkaitakin keinoja.

2.2. Rengasmelun synty

Renkaan ja tien kosketuksesta syntyvä melu on monimutkainen tapahtuma, jota ei kokonaisuudessaan tunneta. Melun syntymiseen vaikuttavat useat tekijät kuten:

- akselipaino ja rengaspaine (renkaan ja tien väliset voimat)
- ajoneuvon rakenne (lokasuojat, maavara jne.)
- renkaan rakenne, koko, lämpötila, pintakuvio ja pintamateriaali
- tienpinnan laatu, lämpötila ja kosteus

Erilaisia syntymekanismia on lukuisia. Niiden keskinäinen painoarvo vaihtelee riippuen renkaan ja tien rakenteista Yleisellä tasolla taulukon 1 tekijät ovat osallisena siinä rengasmelussa, joka kuullaan tien vierellä. Mekanismeja on esitetty kuvassa 1.

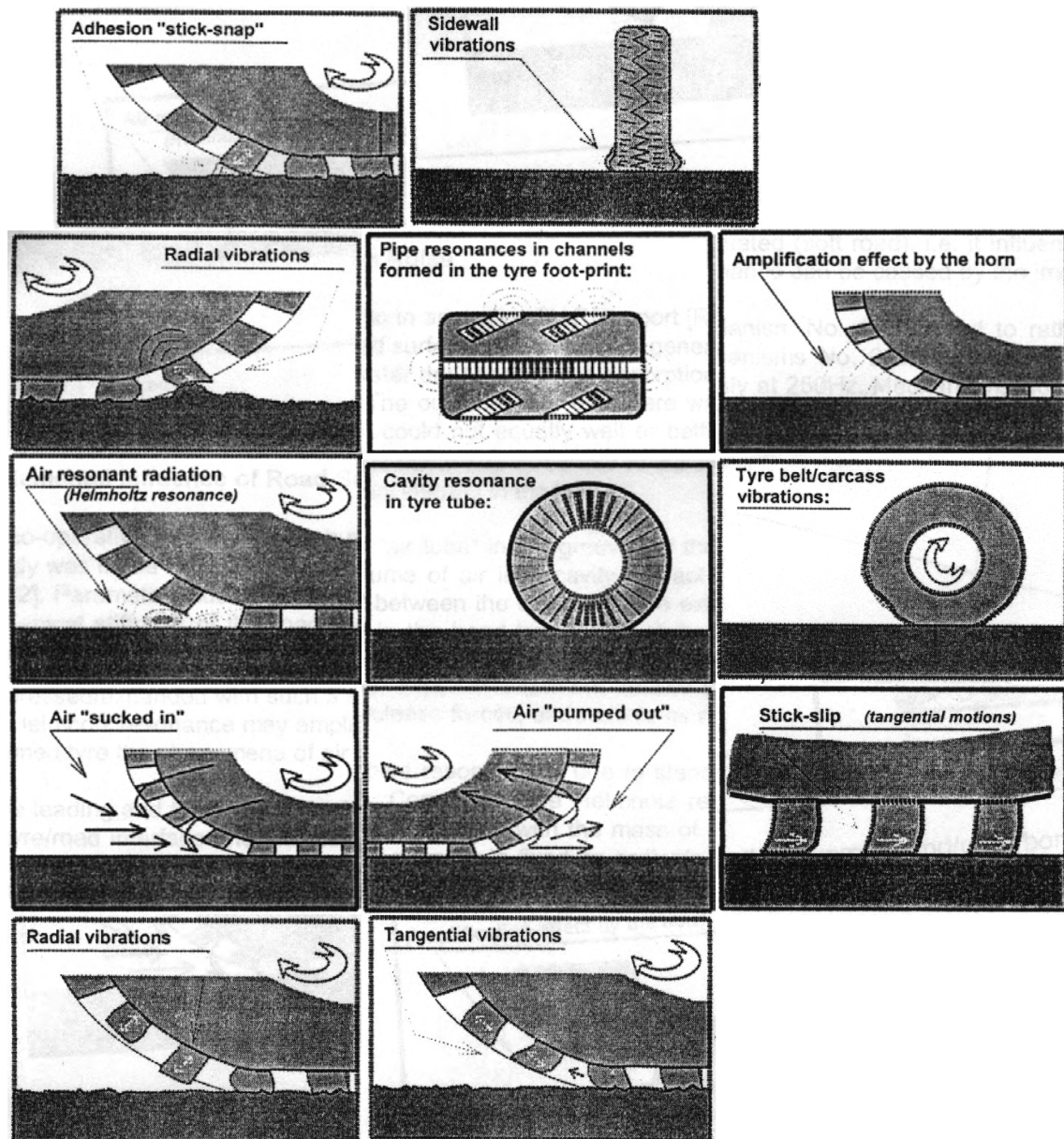
2.2.1. Rengasmelun vähentäminen tuotekehityksen avulla

Syntymekanismien tutkimisen haasteena on ilmiöiden erottaminen toisistaan. Tuotekehityksen vaikeutena on tarve tehdä kompromisseja renkaan ajo-ominaisuuksien, kulutuskestävyyden ja turvallisuuden välillä. Esimerkiksi vesiliirtoa ehkäisevät ominai-

suudet ovat usein ristiriidassa melua vähentävien ratkaisujen kanssa. Renkaan tuottaman melun simuloinnista tarvitaan vielä lisätietoa ja tutkimusta. Simulointia pidetään liian työläänä ja epävarmana ollakseen käyttökelpoinen työkalu. Tien päällysteen karheuden ja päällysterakenteen absorptio-ominaisuuksien arvioiminen laskennallisesti on kehityksen alla ja sen tulokset ovat olleet lupaavimpia (SILVIA 3, 2005). Renkaiden tuotekehityksessä meluominaisuuksien optimoinnissa kuviopalojen jaottelun kohdalla laskennallisilla menetelmillä on saatu kohtuullisia tuloksia.

Taulukko 1. Rengas-tie kosketuksessa syntyvät melun mekanismeja (Sandberg ja Ejsmont, 2002).

Yleiset mekanismit	Värähtelyt (rakenne)	1. Iskut (lähinnä radiaalisia värähtelyjä)	1. Kuviopalan isku: renkaan kuviopalojen tai muiden osien kuten nasta iskut tiehen. Nämä aiheuttavat radiaalisia ja tangentiaalisia värähtelyjä renkaan vyörakenteeseen, josta ne leviävät renkaan kylkiin.
			1B Tien pintakarheuden iskut: mekanismi sama kuin 1A:ssa kuviopalojen kohdalla. Tien pinnan vaihtelu johtaa eri palojen erilaiseen iskeytymiseen tienpintaan
			1C Renkaan muokkautuminen: kuviopinnan tulo- ja jättöreunan muokkautuminen tiekosketuksessa, renkaan painuminen
		2. Adheesio (lähinnä tangentiaalisia värähtelyjä)	2A Stick/slip: kuvio palojen liikkeet tienpinnan suhteen aiheuttaen tangentiaalisia värähtelyjä, toimii samalla herätteenä 3C ja/tai 3D
			2B Kumin ja tien stick/snap (adheesio), aiheuttaa tangentiaalisia ja radiaalisia värähtelyjä
	Värähtelyt (ilma)	3 Ilman liikkeet ja värähtelyt	3A Ilman turbulenssi: ilman virtaukset pyörivän ja tien pinnan suhteen etenevän renkaan ympärillä
			3B Ilman pumppaus: ilman poistuminen ja palaaminen renkaan ja tien väliin ja renkaan kuvioon, ei välttämättä resonanssia
			3C Putki resonanssi: ilman resonointi kulutuspinnan urien ja tien muodostamissa ”putkissa”, voitaisiin ajatella 3B:n erikoistapauksena
			3D Helmholtz resonanssi: ilman virtaus sisään ja ulos kulutuspinnan urien ja tien muodostamista ”putkista”, voi ajatella 3B:n erikoistapauksena
Muita melun syntyä vahvistavia tai heikentäviä mekanismeja		4. Torvi-vaikutus	4 Tienpinnan ja renkaan kohtausta ja jättöreunaan syntyy avautuvat tai sulkeutuva ”torvi”, joka toimii äänen vahvistimena kuten torvi
		5. Akustisen impedanssin vaikutus	5A Huokoisissa pinnoissa oleva tyhjä tila toimii ääntä absorboivana tilana, vähentäen äänilähteen voimaa
			5B Sama kuin 5A, mutta vaikuttaa äänen leviämiseen kaukokenttään (heijasteet)
		6. Mekaanisen impedanssin vaikutus	6A Tien pinta vahvistaa tai heikentää kuviopalojen liikettä riippuen tien ja renkaan dynaamisesta jäykkyydestä (siis myös nopeudesta)
			6B Joitain renkaan värähtelyistä voi siirtyä tienpintaan tai sitä pitkin (spekulatiivinen mekanismi)
		7. Renkaan resonanssit	7A Renkaan vyön resonanssit
			7B Renkaan toruksen eli sisätilan resonanssit (renkaan sisällä on hyvin meluisaa, tämän melun kuuluminen renkaan/vanteen lävitse)



Kuva 1. Rengasmelun syntymekanismeja kuvallisesti esitettyinä (Sandberg ja Eismont, 2002).

2.2.2. Rengasmeluntorjunta

Liikennemäärän pienentäminen puoleen alentaa melutasoa 3 dB. Jos liikennemäärä pienenee 10 %, on melutason alenema 0,4 dB. Nopeus vaikuttaa melutasoon. Yleisesti on arvioitu, että nopeuden alentaminen esimerkiksi 100 km/h:sta 60 km/h:iin alentaa melutasoa 2-3 dB jokaista 20 km/h vähenemistä kohti (Sandberg ja Eismont, 2002).

Myös renkaat vaikuttavat vierintämeluun. Esimerkiksi nastarenkaiden aiheuttama melu on noin kolme dB suurempi kuin kesärenkaiden aiheuttama melu. Lisäksi eri valmistajien renkaiden välillä on eroja tässä suhteessa. Leveämmät renkaat synnyttävät enemmän melua kuin kapeat. Arviona on noin +1 dB jokaista 25 mm levenemistä kohtaan nykyisin henkilöautoissa käytössä olevilla renkailla (SILVIA 4). Tällä hetkellä optimoimalla rengasta erityisesti melun suhteen voitaisiin ohiajomelua ehkä alentaa renkaiden avulla 1,5-2 dB. Tätä suuremmat alennukset edellyttäisivät muutoksia suorituskykyluokitukseen tai renkaan muihin turvallisuuteen ja kestävyysliittyviin ominaisuuksiin. Käytännössä tästä aiheutuvia kustannuksia ei kuitenkaan pystyittäisi siirtämään tuotteen hintaan (asiakkaan maksuhalukkuus ei riitä), joten tämän potentiaalin saaminen käyttöön ei onnistu ilman tiukentuvia määräyksiä.

Koetiet osoittavat, että hyväkuntoinen päällyste on hiljaisempi kuin huonokuntoinen. Tanskalaiset kokemukset sekä Suomessa tehdyt koetiet osoittavat, että uusi päällyste on 2-5 dB hiljaisempi kuin kulunut päällyste. Jos päällysteessä on halkeamia, purkautumia ja paljon paikkauksia, melutaso on 1-2 dB korkeampi kuin ehjällä päällysteellä (Forsten, 2001).

2.3. Rengasmelun mittaaminen

Renkaan ja tien aiheuttaman melun mittaamenetelmät voidaan jakaa ohiajomenetelmiin sekä lähimittausmenetelmiin. Huomattavaa on, että tutkimuksellisiin ja tuotekehityksellisiin tarkoituksiin näistä perusasetelmista on kehitetty lukemattomia sovelluksia. Eri tutkimuksien tuloksia vertailtaessa on kiinnitettävä erityistä huomiota mittaamenetelyyn. Mittausmenetelmiä on selostettu tarkemmin liitteessä 1.

Ohiajomenetelmiä ovat Coast-By (CB), Statistical Pass-By (SPB) ja Controlled Pass-By (CPB). Näistä kaikki menetelmät sopivat periaatteessa päällysteiden tutkimiseen. Menetelmien suurimmat vaikeudet liittyvät mittauspäikalle asetettaviin vaatimuksiin ja mittausta häiritsevään taustameluun.

Lähimittausmenetelmiä ovat puolestaan Close-Proximity (CPX) ja Laboratory Drum (DR). Näistä lähinnä CPX soveltuu päällysteiden ja renkaiden tutkimiseen sekä kehittämiseen. Menetelmien etuna on pieni erottelukyky verrattaessa erilaisia teknisiä ratkaisuja sekä mahdollisuus muuttujien karsimiseen. Haittatekijöinä on tulosten merkitsevyyden mieltäminen meluntorjunnan kannalta ja mittaustaitteiston usein mutkikkaat vaatimukset.

Hiljaisten päällysteiden kohdalla rengasmelun mittaamisella on neljä päätarkoitusta;

(1) Tien pintojen luokittelu esimerkiksi markkinointi- tai meluntorjunnan suunnittelutarkoituksiin. Tähän tarkoitukseen suositellaan SBX- ja CPX-menetelmiä.

(2) Tuotannon ja tuotteen laadun testaaminen eli Conformity of Production (COP) toiminta.

(3) Päällysteen tarkkailu erityisesti, jos meluominaisuudet ovat osa toiminnallisia vaatimuksia. Tämän tyyppiseen toimintaan CPX on soveltuvin.

(4) Tuotekehitykseen ja tutkimukseen liittyvät mittaukset (SILVIA 2, 2005).

Vaunumenetelmän ja tievarresta mitattujen tuloksien keskinäistä suhdetta on tutkittu useissa projekteissa, viimeksi Suomessa HILJA³-projektin yhteydessä (Raitanen, 2005). Yleispäteviä tuloksia ei ole saatu. Pohjimmiltaan menetelmät eroavat niin paljon toisistaan, että niiden tuloksien suora verrattavuus vaikuttaa epätodennäköiseltä, vaikka se on erittäin houkuttavaa käytännön päällysteiden kehitystyötä ajatellen. Erityisesti huomattavaa on erityyppisten melun mittausten menetelmien tulosten vertailun vaikeus. Käytännössä usein eri päällysteiden ja renkaiden keskinäinen järjestys on sama eri menetelmillä, mutta ratkaisujen välisten erojen suuruuksia ei voida vertailla. Erityisen korostettavaa tämä on vertailtaessa tienvarresta mitattua ohiajomelua (Statistical Pass-By ja muut vastaavat menetelmät) sekä pelkkää rengas-tiekosketuksessa saatua tulosta (vaunumelumittaus, Close Proximity Method ja vastaavat). Näiden kohdalla suurena tutkimuksellisenä haasteena on ollut yrittää löytää niiden välille laskennallinen yhteys. Sitä ei ole kyetty kehittämään lukuisista yrityksistä huolimatta.

2.4. Hiljaiset päällysteet

2.4.1. Mikä on hiljainen päällyste?

Hiljaiset päällysteet määritellään usein seuraavalla tavalla:

Hiljaisia päällysteitä ovat päällysteet, joiden aiheuttama rengasmelu on vähintään 3 dB(A) alhaisempi kuin tavallisten tai ”yleisimmin” käytettyjen päällysteiden aiheuttama melu (Sandberg ja Eismont, 2002).

Vertailupäällyste vaihtelee maakohtaisesti, mutta yleisesti tällaisina päällysteinä pidetään tiivistä asfalttibetonia (AB), jonka maksimiraekoko on 11-16 mm ja SMA-

³ Hiljaiset päällysteet; tuotevaatimukset ja mittarit –tutkimusprojekti (HILJA-projekti) kuului Tekesin INFRA-teknologiaohjelmaan; kestoajaksi oli 2.1.2001-31.1.2004.

päällystettä, jonka maksimiraekoko on 11-16 mm. Näiden päällysteiden aiheuttama melu on likimain yhtä suuri raekoosta riippumatta, joten ne soveltuvat vertailupäällysteiksi (Sandberg, 1999).

Taulukko 2. *Meluun vaikuttavat päällysteen ominaisuudet ja niiden painoarvot (Silvia 6, 2005).*

nro	Muuttuja	Vaikuttavuus
1	Mikrotexture*	matala-vähäinen
2	makrotexture	hyvin korkea
3	megatexture	korkea
4	epätasaisuus	pieni
5	huokoisuus	hyvin korkea
6	kerroksen paksuus	korkea huokoisilla päällysteillä
7	adheesio (normaali)	matala-vähäinen
8	adheesio (tangentialinen)	matala-vähäinen
9	jäykkyys	vaikutus epävarmaa, vaatimaton?

*mikrotexture on aallon pituudeltaan alle 0,5 aallonpituuksia, macrotexture 0,5-50 mm aallon pituuksia. Karkeistaen voi siis sanoa että mikrotexture on sellainen jota ei erota paljaalla silmällä mutta tuntee sormen päällä / kynnellä ja makrotexture on sellaista minkä näkee paljaalla silmällä selkeästi.

Edellytys hiljaisten päällysteiden käyttämiselle on järkevä kustannus-hyötysuhde. SILVIA projektin tuloksena saadaan luonnos työkaluksi kustannus-hyöty-analyysivertailuihin. Nyt jo kuitenkin tiedetään se, että se tulee vaatimaan jatkuvaan kehittämistä ja ennen kaikkea maakohtaisia tarkennuksia (SILVIA 7, 2005). On erittäin haasteellista arvioida meluntorjuntatoimenpiteistä saatavan hyödyn arvoa rahassa esimerkiksi suojattua asukasta kohden. Sopivilla lähtöarvoilla mikä tahansa toimenpide saadaan näyttämään taloudellisesti järkevältä tai vastaavasti mahdottomalta.

2.4.2. Haitat tavallisiin päällysteisiin verrattuna

Jotta hiljaisten päällysteiden kulumisen saadaan pidettyä lähellä perinteisiä päällysteitä, tämä edellyttää huolellista kiviaineksen valintaa ja valmistusta sekä päällystemassan toiminnallista suhteutusta.. Ensimmäisten koeteiden kohdalla kulumisen oli ongelma, mutta tietämyksen lisääntytyä tilanne on tasaantunut. 2000-luvun alussa tehdyt koekohteet pääkaupunkiseudulla sijoitettiin hyvin vilkasliikenteisille osuuksille (Kehä I, VT3), jolloin saatiin tieto kulumisesta yhdessä vuodessa. Asuntoalueen sisäänajokaduilla kulumistiedon saaminen olisi kestänyt vuosia. Raskaimmin ja korkealla nopeudella liikennöidyt kohteet eivät ole ensisijaisia hiljaisten päällysteiden käyttökohteita. Nykyään Suomessa käytettävien hiljaisten päällysteiden kulumisen on samalla tasolla kuin perinteisten laatujen (Kelkka ym., 2003).

Lähtökohtaisesti voidaan olettaa, että nopeampi kulumisen aiheuttaa enemmän pölyä. Tätä ei kuitenkaan ole tutkittu. Pölyn koostumus, koko ja mahdollisesti paremman puhdistuvuuden tuoma puhtaampi pinta saattavat kompensoida tilannetta. Talvikunnossapidolle hyvin huokoiset päällysteet asettavat erityisvaatimuksia.

2.4.3. Edut tavallisiin päällysteisiin verrattuna

Melua vähentävillä päällysteillä on alhaisen melutason lisäksi muitakin hyviä ominaisuuksia. Ne ovat osittain tai kokonaan vettä läpäiseviä päällysteitä. Siksi ne kuivuvat nopeammin kuin normaalit päällysteet. Kun päällyste kuivuu nopeammin, niin esimerkiksi mustan jään esiintymisriski pienenee. Tällaisilla päällysteillä sadevesi roiskuu vähemmän ja autojen tuulilasit pysyvät puhtaampina, jolloin ajomukavuus ja turvallisuus paranevat. Päällysteillä on vaikutusta myös ympäristön siisteyteen ja elinympäristön viihtyvyyteen. Tasalaatuinen ja ehjä päällyste voidaan arvioida esteettisesti miellyttävämmäksi kuin kulunut ja rikkonainen tai paikattu päällyste. Hienorakeisina massatyyppinä niillä voidaan tehdä ohuita päällysteitä, jolloin päällysteen uusimiskustannukset pysyvät kohtuullisina (Forsten, 2001). Lisäksi tasaisen päällysteen puhdistettavuus on parempi, jolloin katupölyyn vaikuttava hiekan poisto on tehokkaampaa ja näin pölyn määrä vähäisempää. Tämä mekanismin ja joissain käyttökohteissa nopeamman kulumisen arvellaan kumoavan toisiaan.

2.4.4. Liikenneturvallisuusvaikutukset

Hiljaisten päällysteiden kohdalla tunnistetaan erilaisia mekanismeja, jotka voisivat aiheuttaa riskejä turvallisuudelle. Kaikille on kuitenkin yhteistä tutkimuksien puuttuminen.

Monet mekanismit ovat vaikeasti todennettavia ja oletettavasti pieniä muihin riskeihin verrattuna.

Ensimmäinen ja useimmin esiintyvä huoli on melun määrä. Jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden kohdalla tämä voi vaikeuttaa ajoneuvojen havaitsemista. Vaikka näköaisti onkin tärkein liikkumisessa käytettävä aisti, myös kuulon rooli korostuu käytännön liikkumisessa. Voidaan esittää hypoteesi, että 3-5 dB melun alentuma vähentää ajoneuvojen havaitsemista. Tätä ei ole käsitelty kirjallisuudessa (SILVIA 5). Tutkimusasetelmana se olisi hyvin haastava. Tämän riskin hallinnassa on yksi ennakoiva ratkaisu on se, että hiljaisia päällysteitä käytetään vain jalkakäytävien tai erillisten pyöriteiden rinnalla kulkevilla teillä, jolloin liikennemuodot ovat erillään.

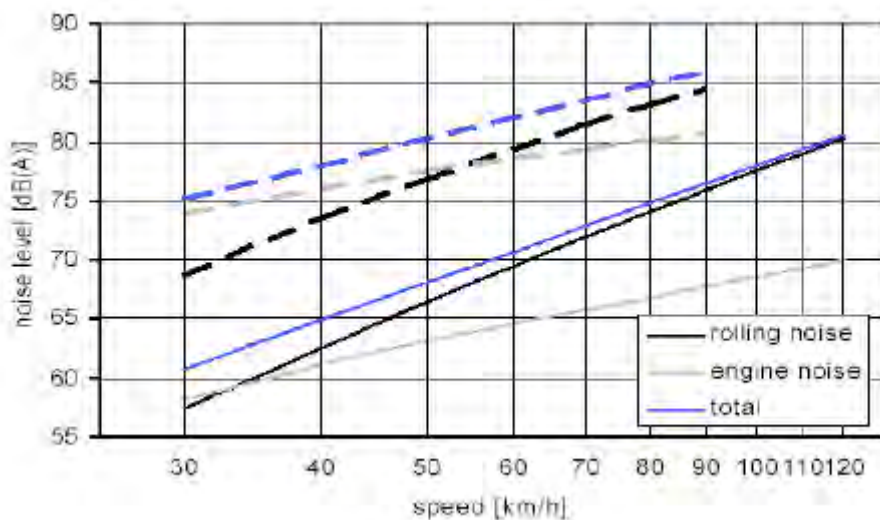
Toinen meluun liittyvä riski, joka esiintyy keskusteluissa on ajonopeuksien nousu. Aihetta on jonkin verran tutkittu, mutta selkeää tulosta ei ole. Ilmiö sekoittuu mukavuuteen eli kun päällyste uusitaan, se on alussa tasainen ja ajomukavuus paranee. Tämän nopeutta nostava vaikutus on suurempi kuin ajoneuvon sisämelun aleneman (SILVIA 5). Autojen välillä on huomattavia eroja meluisuudessa ja kuljettajien radion kuuntelu osaltaan vähentää rengasmelun vaihtelun merkitystä. Sen sijaan tasaisemman ajoalustan aistiminen perustuu usein ohjaustuntoon ja sen merkitys ajonopeuteen ja kuljettajan luottamukseen autoa kohtaa lienee merkittävä. Jos hiljaisia päällysteitä on vain lyhyinä pätkinä tieosuudella, kuljettajat eivät välttämättä ehdi sopeuttaa ajonopeuttaan päällysteissä ja tieolosuhteissa tapahtuviin muutoksiin. Märissä olosuhteissa huokoisilla päällysteillä ajonopeuden alenema sateella on pienempi kuin tiiviillä rakenteilla.

Erityisesti huokoisten päällysteiden kohdalla tien pinnan pysyminen kuivempana sateella ja nopeampi kuivuminen ovat merkittäviä turvallisuutta parantavia seikkoja. Parempi näkyvyys ja vähäisempi vesisumu parantavat näkyvyyttä ja samalla vesiliirron vaara vähenee. Perinteisten liukkauden torjunta-aineiden (suola, nestemäinen suola tai hiekka) käyttäminen joko estyy tai niiden teho heikkenee hyvin huokoisten rakenteiden kohdalla. Tien lämmönjohtavuus on niillä heikompi kuin tiiviiden rakenteiden. Tällöin tienpinta jäätyy nopeammin ja vastaavasti sulaa hitaammin. Samoin huokoinen rakenne on altis jäätävän sateen aiheuttamalle mustalle jäällä, koska tienpinnan tai huokosissa oleva suola huuhtoutuu pois ja satava vesi jäätyy pintaan. Lumisateen kohdalla huokosissa oleva suolavesi liuos pumppautuu pintaan muodostaen loskaa, joka pysyy tiellä estäen sitä jäätymästä (SILVIA 5). Tämän tyyppiset rakenteet eivät kuitenkaan ole mahdollisia

Suomessa muutenkaan mm. hiekoitustarpeen, nastarenkaiden kuluttavuuden ja jäätyksen päällysteitä rikkovan vaikutuksen vuoksi.

Sekä hiljaisissa että perinteisissä päällysteissä on uuden päällysteen pinnalla ohut bitumikerros, joka tekee tiestä liukkaan ensimmäisten kuukausien aikana. Kun bitumikerros kuluu pois, hiljaisten päällysteiden kitka on sama tai parempi kuin perinteisten (SILVIA 5). Vesiliirron kohdalla hyvin sileillä päällysteillä voidaan arvella, että renkaan toiminnan merkitys korostuu. Kuitenkin Suomessa päällysteiden liiallinen sileys on harvinainen ongelma joitain korjausmenetelmiä lukuun ottamatta.

Päällysteen kuluminen huonontaa luonnollisesti liikenneturvallisuutta ja ajomukavuutta sekä tuottaa melua. Kaikkien päällystetyyppien kohdalla oikea-aikainen uusiminen on edellytys turvalliselle liikennöinnille. Jos hiljainen päällyste sijoitetaan erittäin vilkaasti liikennöidylle osuudelle, sen kestävyyttä tulee seurata. Huomattavaa on, että jos päällyste joudutaan uusimaan tiheämmin, se todennäköisesti kuitenkin enemmän parantaa liikenneturvallisuutta kuin huonontaa sitä. Käsite nopeasta kulumisesta eroaa maittain. Esimerkiksi Alankomaissa huokoisen päällysteen arvioitu elinikä on 10 vuotta, kun perinteisen on 12 vuotta.



Kuva 2. Vierintämelun ja moottorimelun osuus kokonaismelussa henkilöautolla (ehyet viivat) ja kuorma-autolla (katkoviivat), (Amundsen ja Klæboe, 2005).

2.5. Meluun vaikuttavat päällysteen ominaisuudet

Raskaat ajoneuvot tuottavat eniten melua. Yksittäinen henkilöauto ei ole kovinkaan meluisa, mutta suurilla nopeuksilla ja useampi auto yhdessä aiheuttavat suuren osan liikenteen melusta. Suhteellisen alhaisilla ajonopeuksilla auton voimanlähde tuottaa

suurimman osan sen kokonaismelusta, kun taas suurilla nopeuksilla renkaan ja tienpinnan kosketuksesta syntyvä melu on hallitseva. Missä nopeudessa melun pääasiallinen lähde vaihtuu, riippuu ajoneuvotyypistä sekä renkaan ja tienpinnan suunnittelusta. Yleisesti ottaen tien ollessa kuiva rengasmelu on hallitseva melulähde henkilöautoilla yli 40 km/h ja raskailla ajoneuvoilla yli 50 km/h nopeuksilla (kuva 2). Näistä lukuarvoista on löydettävissä lukuisia tutkimuksia, mutta suuruusluokka on sama.

2.5.1. Tienpinnan aallonpituudet

Ajoneuvojen synnyttämän melun ja päällysteen tiettyjen aallonpituuksien välillä on löydetty yhteys useissa eri tutkimuksissa. Tämä yhteys ei ole kuitenkaan yksiselitteinen. Aallonpituudet mitataan profilometrillä ja ne jaetaan kolmeen eri luokkaan:

Mikrorakenteeksi kutsutaan tienpinnan poikkeamia, jotka ovat alle 0,5 mm. Tämä vastaa pinnan pienimittaista epätasaisuutta, joka johtuu esimerkiksi päällysteen kiviaineksesta. Mikrorakenne aiheuttaa tienpinnan ja renkaan välisen kitkan adheesiokomponentin, joten sillä on merkitystä turvallisuudelle.

Makrorakenteeksi kutsutaan tienpinnan poikkeamia, jotka ovat suuruudeltaan välillä 0,5-50 mm. Makrorakennetta tarvitaan kitkan hystereesikomponentin vahvistamiseen. Samalla se muodostaa päällysteeseen kanavia, jolloin päällyste pysyy kuivana.

Megarakenne vastaa tienpinnan poikkeamia, jotka ovat välillä 50-500 mm. Vaihteluväli on usein sama kuin renkaan kuvion kontaktipinta tien kanssa. Megarakenteella on haitallinen vaikutus sekä kitkaan että meluun. Megarakenteen suuremmat aallonpituudet voidaan myös jo tulkita epätasaisuudeksi ainakin puhekielessä.

Päällysteet, joissa voidaan rajoittaa megarakenteen aallonpituuksia mutta säilyttää riittävä makrorakenne, tuottavat riittävän kitkan ja samalla halutut meluominaisuudet (Nelson ja Phillips, 1997).

2.5.2. Päällysteen amplitudi

Amplitudin vaikutus meluun makrorakenteen lyhyillä aallonpituuksilla liittyy melun syntymekanismiin, jossa ilma puristuu tien ja renkaan väliin. Päällyste, jossa on suuri amplitudi pienillä aallonpituuksilla, aiheuttaa ylimääräisiä ilmapolkuja renkaan ja päällysteen väliin estäen samalla ilmaa jäämästä loukkuun ja puristumasta renkaan kuvioihin. Päällyste, jossa on syvä rakenne makrokarheuden lyhyillä aallonpituuksilla, vähentää ilman pumppautumisesta johtuvaa melua (Nelson ja Phillips, 1997).

Ongelmana on saada aikaan päällysteitä, joissa olisi suuri amplitudi 5 mm aallonpituus-alueella ilman, että 50 mm amplitudi kasvaisi. Tähän voidaan kuitenkin päästä sopivalla kiviaineksen koolla ja muodolla. Päällysteen suurimman raekoon tulisi olla melun kannalta ajateltuna mahdollisimman pieni. Melun kannalta ajateltuna suurin raekoko olisi todennäköisesti noin 6-10 mm. Yli 10 mm raekokoja tulisi välttää. Vaatimus on kuitenkin ristiriidassa amplitudivaatimusten kanssa. Jos valitaan mahdollisimman pieni raekoko, pienenee samalla amplitudi, koska amplitudi on useimmiten riippuvainen käytetyn kiviaineksen koosta.

2.5.3. Kiviaineksen muoto

Suuret raekoot lisäävät päällysteen megarakennetta, joka aina vaikuttaa melua lisäävästi. Kiviaineksen valinnassa tulisi pyrkiä tasaiseen neliömäiseen muotoon ja rakeiden tulisi limittyä sopivasti, sillä päällysteessä ”puuttuvat” rakeet saavat aikaan megarakennetta. Pitkittäiset kivirakeet asettuvat usein epäsäännöllisesti ja jos esimerkiksi joka neljäs pitkittäinen kivirake on pystyssä muiden ollessa vaakatasossa, saadaan jälleen aikaan melun kannalta ei-toivottua megarakennetta. Päällysteen jyräyksessä tulee muistaa, että liika jyräminen pienentää päällysteen amplitudia.

Kiviaineksen muoto vaikuttaa pinnan spektriin. Yleensä on suositeltu, että käytettävä kiviaines sisältää jyrkkiä särmiä, joten se olisi mursketta ja mielellään kivilaatua, joka ei kiillotu helposti ja säilyttää terävyytensä mahdollisimman pitkään. Lisäksi päällystettä tehtäessä tulisi pyrkiä avoimeen tilaan rakeiden välissä eli hiekkapitoisuuden minimoimiseen. Tämä ei tarkoita välttämättä kuitenkaan huokoista rakennetta. SMA on tästä hyvä esimerkki.

Kahden tasaisen pinnan koskettaessa toisiaan syntyy niiden välille adheesiota ja molekyyli-siteitä, joiden särke miseksi tarvitaan energiaa. Pintojen erotessa toisistaan kuuluu napsah tava ääni, joka dominoi erityisesti melko korkeilla taajuuksilla. Suuritaajuis ta melua voidaan vähentää, jos tien pinnan ja renkaan kumin välinen adheesio pysyy alhaisena. Tähän liittyen esimerkiksi kiillottuvia päällysteitä tulisi välttää. Pääsääntöisesti adheesioon on kuitenkin melko vaikea vaikuttaa ja sen merkitys on varsin vähäinen. Parhaiten adheesio n kuulee siirrelt äessä autoja esimerkiksi autoliikkeiden maalat uilla, kiiltävillä lattioilla.

2.5.4. Sideaine ja päällysteen kovuus

Päällysteen kovuuden vaikutuksesta meluun on keskusteltu 1970-luvulta alkaen, mutta sen vaikutusta ei ole koskaan täysin tutkittu. Usein on kuitenkin esitetty, että betoni-päällysteet ovat meluisia, koska ne ovat kovia. Lämpötilan noustessa taas ”mustien” päällysteiden melu vähenee, minkä on arveltu johtuvan sideaineen pehmenemisestä. Vanhenevilla päällysteillä vierintämelun kasvun uskotaan johtuvan sideaineen kovenemisesta.

Kumin lisäämisellä on päällysteistä yritetty saada pehmeämpiä ja samalla vähemmän meluisia. Merkittävää käytännön edistystä ei ole näin saavutettu. Kuitenkin päällysteissä, joissa kumirouhe on ”pääkiviaineksena” kuten huokoselastisissa päällysteissä, on saavutettu dramaattisia melun alenemisia (ISO 11819-1), tosin usein kestävyysromahdessa. Yhdysvalloissa on virinnyt uudelleen väittely siitä, kumpi on parempi, betoniteiden päällysteet vai kumirouheella seostettujen asfalttipäällysteet. Keskustelu on voimakkaasti taloudellisten intressin värittämä, mutta johtanee aktiiviseen tutkimustoimintaan (SILVIA 6).

2.5.5. Päällysteen lämpötilan ja värin vaikutus meluun

Vierintämelu päästö laskee renkaan lämpötilan noustessa ja renkaan lämpötila seuraa tien pinnan lämpötilaa. Raskaasti kuormitettu rengas toimii lämpöisempänä ja olisi niin muodoin hiljaisempi, mutta käytännössä renkaan kuormituksen lisääminen lisää taas muiden rengasmelun syntyy vaikuttavien mekanismien merkitystä, joten tätä kautta ei ole saavutettavissa hyötyä. Renkaan pintalämpötila on normaaliajossa hyvin lähellä tienpinnan lämpötilaa ja renkaan rungon lämpötila on noin 20-40 astetta korkeampi kuin päällysteen lämpötila. Rengas saavuttaa normaalin, ulkoilman lämpötilaan suhteessa olevan toimintalämpötilansa noin 10–15 minuutin kuluessa ajon alkamisesta. Kylmä rengas eli rengas jolla ei ole ajettu useaan tuntiin meluaa enemmän kuin lämmin rengas.

Päällysteen värillä on todettu olevan vaikutusta sen meluisuuteen. Tumma päällyste imee tehokkaammin auringon säteilyä kuin vaaleat päällysteet. Säteilyn vaikutuksesta päällysteen pinta lämpenee ja renkaan ja tienpinnan välinen melu riippuu lämpötilasta. Lisäksi tienkäyttäjät kokevat jostain syystä tumman päällysteen vaaleampaa hiljaisemmaksi. Tätä ns. ”plasebo” -vaikutusta (lumevaikutusta) on jopa kokeiltu Tanskassa värjäämällä vaalea päällyste tummaksi, jolloin se koettiin hiljaisemmaksi.

2.5.6. Huokoisuus ja äänen absorptio

Äänen absorptioon vaikuttavat päällysteen ominaisuudet kuten paksuus, huokoisuus, rakeisuuskäyrä ja sideaineen laatu ja määrä. Huokoisuus voidaan jakaa osatekijöihin kuten huokosmäärään, huokoisen kerroksen paksuuteen, virtausvastukseen ja huokosten muodostamien käytävien muototekijään. Mitä suurempi on huokosten määrä ja paksumpi kerros, sitä vähemmän on vierintämelua.

Huokoisten päällysteiden rengasmeluun voidaan vaikuttaa optimoimalla kolmea asiaa:

- pintaa, jolloin tavoitteena on mahdollisimman pieni värähtely renkaaseen;
- huokoisuutta, jolloin pyritään saavuttamaan suotuisat kuivumis- ja äänen absorptio-ominaisuudet; ja
- kerrosten määrää ja paksuutta; kerroksilla ja niiden paksuudella vaikutetaan paitsi kerrosten kiinnittymiseen toisiinsa myös päällysteiden kustannuksiin.

Suuri huokoisuus ei ainoastaan absorboi ääntä vaan vähentää myös ilman pumppautumisesta aiheutuvaa melua sekä torviefektiä. Lisäksi huokoisuus vähentää äänen heijastumista ja leviämistä. Huokoisissa päällysteissä tarvitaankin mahdollisimman pientä mega- ja makrorakennetta. Tämä tarkoittaa muun muassa sitä, ettei kiviaineksen tarvitse olla terävää kuten muissa päällysteissä. Tämä pätee ainoastaan, jos päällysteessä on riittävä huokoisuus (ISO 11819-1).

Yksi mahdollisuus on kaksikerroksinen rakenne, jossa on pienirakeinen päällyskerros ja karkeampi alempi kerros. Kaksikerroksinen rakenne vaatii puhdistamista noin kerran vuodessa. Rakenteen ongelmana on ollut saada kerrokset liittymään yhteen riittävän hyvin. Menetelmää käytetään erityisesti Hollannissa.

3. Yleisimmät asfalttityypit ja asfaltin kulumiseen vaikuttavat tekijät

3.1. Tausta

Asfalttimassat koostuvat kiviaineksesta (>90 %), sideaineesta (bitumi) sekä täyteaineesta, joka voi koostua esim. kalkkikivestä, lentotuhkasta ja selluloosakuiduista. Eri tyyppisissä asfalteissa käytetään eri raekokojakauman omaavia kiviaineita ja massan sideainepitoisuutta vaihdellaan (PANK, 2000).

Asfalttipäällysteiden kulumista tutkittiin 1990-luvulla ASTO-tutkimuksissa (esim. Kurki ym., 1992), jonka mukaan asfaltin kulumiseen vaikuttaa eniten käytetyn kiviaineksen

geologiset ominaisuudet, kuten kiviaineksen mineraalikoostumus ja se miten kiven mineraalit ovat liittyneet toisiinsa. Toiseksi eniten kulumiseen vaikuttaa käytetyn kiviaineksen raekokojakauma sekä muoto-ominaisuudet. Karkeampirakeiset kivet sisältävät vähemmän kuluva pintaa verrattuna hienorakeisiin kiviin ja koska kuluminen tapahtuu kivirakeiden pinnoilla, kuluvat hienorakeisimmista kiviaineksista valmistetut asfaltit voimakkaammin verrattuna karkeammista kiviaineksista valmistettuihin asfaltteihin. Kiviainesten testaaminen tapahtuu nykyisin standardisoitujen testimenetelmien mukaan (Suomen standardoimisliitto, 2003).

Teiden pintojen märkyydellä on erittäin suuri vaikutus tien pintojen kulumiseen, mikä korostuu heikoimman kulutuskestävyyden asfalttipäällysteillä, sillä märkä tien pinta kuluu moninkertaisesti verrattuna kuivaan tienpintaan (Folkeson 1992). Tien pintojen kulumistutkimuksissa ja kulumisennusteiden tekemisessä tien pintojen märkyys onkin yksi tärkeimmistä selvitettävistä asioista. Tienpintojen märkyyden yleisyyteen vaikuttaa leutojen talvien yleisyys sekä kasvaneen liikennesuoritteiden asettamat vaatimukset teiden turvallisuudelle. Liukkaudentorjuntaan käytetään yleisesti suolausta, joka aiheuttaa tien pinnalle märät olosuhteet.

Asfaltit urautuvat nastarenkaiden vaikutuksesta nastojen raapivan kulutuksen sekä niiden iskujen johdosta. Kitkarenkaat kuluttavat tien pintaa hyvin vähän, mikäli tien pinnalla ei ole kuluttavaa "hionta-ainetta" renkaan alla. Hionta-ainetta voi olla hiekoitushiekka, mutta sitä muodostuu myös nastarenkaiden aloittaman kulutustapahtuman seurauksena. Hionta-aine kuluttaa kaikkien renkaiden alla tienpintaa ja kuluu myös itse aina hengitettäväksi pölyksi asti. Kulumisen seurauksena muodostunutta hienorakeista hionta-ainetta keräytyy enemmän kulumisurien pohjille, joka kiihdyttää hiekkapaperiefektiä eli asfaltin kulumista kaikkien rengastyyppeiden alla.

Raskas liikenne aiheuttaa myös päällystekerroksien urautumista asfalttien ja/tai pohjarakenteinen painumisen muodossa. Tämä ns. deformatuminen tapahtuu raskaan liikenteen aiheuttaman kuormituksen vaikutuksesta etenkin kesäaikaan. Deformaation merkitys on kasvanut viimeisten vuosikymmenien aikana kasvaneiden akselipainojen sekä liikennesuoritteiden johdosta. Toisaalta nastarenkaiden kuluttava vaikutus on pienentynyt viimeisen 20 vuoden aikana tapahtuneen nastojen kehitystyön seurauksena (nastojen määrä renkaassa, ulkonema ja massa ovat pienentyneet). Samanaikaisesti kuitenkin lisääntynyt liikennemäärä ja autojen massan lisääntyminen on lisännyt päällysteiden kulumista. Myös

ajonopeudella on suuri vaikutus asfaltin kulumiseen. Mitä kovempaa ajetaan sitä voimakkaammin asfaltit kuluvat.

Asfaltin kivirakeiden kulumisen voidaan jakaa kahteen pääkomponenttiin, jotka ovat hiova/raapiva kulutus ja kivirakeiden murtuminen. Nastarenkaiden aiheuttama raapiva kulutus on voimakkainta mutkissa ja risteysalueilla sekä yleisesti taajama-alueella. Korkeamman nopeuden (> 80 km/h) tieosuuksilla asfaltin kulumiseen vaikuttavat myös myös nastojen iskut. Ne aiheuttavat asfaltin kivirakeiden murtumisia, jotka tapahtuvat kivirakeiden reunoilta sekä kivirakeiden heikkousvyöhykkeitä pitkin. Heikkousvyöhykkeitä ovat esimerkiksi kivien mikrohalkeamat, liuskeisten ja suuntautuneiden kivien tasomaiset mineraalikerrokset sekä suorat mineraalirakeiden rajapinnat..

Asfaltin kiillottuminen alentaa päällysteen ja renkaan välistä kitkaa ja sen myötä pienentää turvallisuutta. Suomessa asfalttien kiillottuminen ei ole ongelma, koska täällä käytetään runsaasti nastarenkaita, jotka karhentavat asfaltin pinnan. Jos kitkarenkaiden käyttö yleistyy selvästi, voi kiillottuminen muodostua tiettyjen kivilaatujen ongelmaksi myös Suomessa. Kiviainesten kiillottumista mitataan standardin SFS EN 1097-8 mukaan. Suomen olosuhteissa kiillottumiselle alttiimpia kiviaineksia ovat etenkin kulutuskestävimmät kiviainekset, jotka koostuvat kovuudeltaan homogeenisista mineraaleista. Täten, jos kiviaines sisältää sekä kovia (maasälvät ja kvartsi) sekä riittävän määrän vähemmän kovia (esim. kiillemineraalit), kuluvat eri mineraalit eri suhteissa, jonka seurauksena asfaltin pinta ei kiillotu voimakkaasti. On kuitenkin huomioitava, että koska kiillottuminen ei ole ollut ongelma Suomessa, ei sitä ole täällä sen vuoksi tutkittu. Yksittäisiä kiviainesten kiillottumismäärittäyksiä on tehty lähinnä silloin, jos kiviaineksia on suunniteltu vietävän Suomesta.

3.2. Asfaltin kiviaines

Asfalttinormit (PANK 2000) asettavat kulutuskestävyys ja muotovaatimuksia asfaltin kiviainekselle. Vaatimukset eri käyttökohteille riippuvat teiden nopeusrajoituksista sekä liikennemäärästä. Asfaltin kiviaineksen mekaanista kulutuskestävyyttä voidaan mitata ns. kuulamylykokeella (SFS EN-1097-9), joka testaa kiviainesten kykyä vastustaa nastarenkaiden raapivaa kulutusta. Kiviainesten iskunkestävyyttä mitataan Los Angeles – testillä (SFS EN 1097-2), mutta iskunkestävyysominaisuutta ei edellytetä määritettävän asfaltin kiviaineksista, vaikka se on oleellinen ominaisuus suuremman nopeuden (> 80 km/h) tieosuuksilla. Kaikilla Suomen korkealaatuisilla asfaltin kiviaineksilla, jotka omaavat hyvän kyvyn vastustaa nastarenkaiden raapivaa kulutusta ei ole yhtä hyvää kykyä

vastustaa nastarenkaiden nastojen aiheuttamia iskuja. Tämän johdosta suuremman nopeuden asfalttien kiviaineksista tulisi tutkia myös kiviainesten iskunkestävyys. Katupölyn muodostumisen kannalta tämä olisi tärkeä toteuttaa kaupunkien sisäänajovyöhylien asfalttien kiviaineksista.

Asfaltin kiviaineksen muoto-ominaisuuksia mitataan litteyslukumäärityksen avulla (SFS EN 933-3), joka määrittää sen kuinka paljon kiviainekset sisältävät litteitä kivirakeita. Kiviainesten muoto-ominaisuuksilla on vaikutusta asfaltin kulumiseen, mutta myös asfaltin pinnan rakenteeseen, tiivistettävyyteen, deformatumiseen sekä tarvittavaan sideainepitoisuuteen. Mikäli asfaltin kiviainekset koostuvat huonomman muotoisista kivirakeista (litteysluku korkea) kuluu asfaltti enemmän verrattuna parempimuotoisista kiviaineksista valmistettuihin asfaltteihin. Suuntautuneilla sekä lujilla kiviaineksilla on taipumus lohjeta litteän muotoisiksi kivirakeiksi. On kuitenkin huomattava, että litteiden kivirakeiden kuluminen on voimakkaampaa varsinkin niillä kiviaineksilla, joilla on heikko kyky vastustaa nastarenkaiden aiheuttamaa raapivaa kulutusta (Alkio ja Vuorinen 1996). Kiviainesten muoto-ominaisuuksiin liittyy siis monia tekijöitä eikä ole yksiselitteistä, miten litteyslukuarvoihin tulee suhtautua eri asfalttityypeillä sekä eri kivilajeilla, mutta litteyslukuun tulee kiinnittää siis erityisesti huomiota lujuudeltaan heikompien kiviainesten yhteydessä.

Eri kiviainesten kulumisominaisuudet eivät pienene lineaarisesti raekoon pienentyessä, vaan kiviaineksilla on huomattavia eroja (Räisänen 2004). Koska edellä mainitut lujuustestit toteutetaan 10-16 mm kiviaineksista, eivät ne kuvaa luotettavasti esimerkiksi hiljaisten asfalttien kiviainesten kulutuskestävyyttä. Tämä voidaan selittää sillä, että hiljaiset asfaltit valmistetaan yleisesti < 8 mm kiviaineksista. Erot eri kiviainesten kulumisominaisuuksissa voimistuvat hienorakeisilla kiviaineksilla, koska tällöin kiven mineraalikoostumuksen lisäksi vaikuttaa huomattavasti myös kiven mineraalien yhteenliittyminen eli kiven mikroskooppinen rakenne. Yleistajuisena esimerkkinä kivien raekoon vaikutuksesta kivien kulumiseen voidaan käyttää kaupunkien nupukiviä, jotka ovat kestäneet satoja vuosia käyttökelpoisina. Jos samoista kivistä, jotka ovat usein keski- tai karkearakeisia graniitteja ja gneissejä, valmistettaisiin asfaltin kiviaineksia ne kuluisivat vilkkailla kaduilla muutamissa vuosissa. Täten on erittäin tärkeä huomioida loppukäyttökohteen kivirakeiden koko sekä kivirakeiden muodostavien mineraalien raekoko ja mineraalien yhteenliittyminen toisiinsa. Tämä tulee korostetusti esille hiljaisten asfalttien kiviainesten kohdalla.

Koska hienorakeisemmalle kiviainekselle ei ole voimassaolevaa tutkimusmenetelmää tai luokittelua, ruotsalaiset ovat ehdottaneet kiviainesten standardoimisesta vastaavalle organisaatiolle (CEN, European Committee for Standardization) kuulamylykokeen (SFS-EN 1097-9) laajentamista hienorakeisemmille kiviaineksille. Suomen kiviainesten standardoimisesta vastuullinen Rakennusteollisuus RT ry:n kiviainestukiryhmä on lausunnossaan kannattanut ruotsalaisten aloitetta hienorakeisten kiviainesten testaamisen aloittamista, joka edellyttää myös uusien kiviainesluokkien perustamista. Suomen lausunnossa korostettiin mm. hiljaisten asfalttien kiviainesten testaamisen tärkeyttä.

Asfaltin kulumiseen vaikuttavat eniten kiviaineksen geologiset ominaisuudet. Tämän johdosta, kun vertaillaan eri asfalttilaatuja, on tärkeää huomioida asfaltin kiviaineksen mineralogiset ja tekstuurilliset tekijät. Esimerkiksi, kun verrataan hiljaisten asfalttien kulumista ns. normaalien (esim. AB 16) asfalttien kulumiseen tulee kiinnittää huomiota erityisesti siihen, onko asfaltit valmistettu samasta kiviaineksestä. Yleensä hiljaiset asfaltit valmistetaan parhaimmista mahdollisista kiviaineksista, kuten Pernajan Koskenkylän tai Hyvinkään Kytäjän metamorfoituneista vulkaniiteista, koska muuten ne kuluisivat liian nopeasti. AB-asfaltteja valmistetaan puolestaan yleensä kiviaineksista, jotka omaavat edellisiin vulkaniitteihin verrattuna heikomman kyvyn vastustaa nastarenkaiden raapivaa kulutusta (korkeamman kuulamylyarvon). Eli AB-asfalttien kiviainesten valintaa ohjaavat liikennemäärä ja ajonopeus. Jos esimerkiksi AB-16 asfaltti valmistettaisiin edellä mainituista vulkaniiteista olisi kyseisen asfaltin kulutuskestävyys huomattavasti parempi verrattuna samasta kiviaineksestä valmistettuun hiljaiseen asfalttiin, koska AB-16 asfaltti on valmistettu karkeammista kiviaineksista, joilla on vähemmän kulumaa pinta-alaa.

3.3. Asfaltin kulutustestit

Asfaltista voidaan porata sylinterin muotoisia näytteitä, joista voidaan tutkia asfalttinäytteen kykyä vastustaa nastarenkaiden aiheuttamaa kulutusta Prall-menetelmällä (SFS EN 12697-16A) tai SRK-menetelmällä (SFS EN 12697-16B). 'Prall'-menetelmää on parannettu laajalla tutkimustyöllä. Ruotsissa tehdyn tutkimuksen mukaan menetelmä korreloi tiellä tapahtuvaan kulumiseen. SRK-menetelmä pohjautuu kokemuksiin Suomessa ja korreloi kulumiseen tiellä, tosin tämän menetelmän tulokset eivät korreloi kaikkien hiljaisten asfalttien kulumistutkimuksissa. Kurki ym. (2004) mukaan Prall-testiä ei ole mainittu asfalttinormeissa, mutta sen yhteys asfalttien kulumiseen on vähintään SRK-menetelmän tasoa. Prall ei kuitenkaan sovellu ainakaan hiljaisille päällysteille, joten

kulumista ennakoivaa menetelmää ei ole, vaan on mitattava todellisia kulumisia (Raitanen, 2005).

3.4. Asfalttityypit

Yleisiä kulutuskerrosten asfalttityyppejä ovat AB- ja SMA-asfaltit, joiden ominaisuuksia ja käyttökohteita selvitetään seuraavissa kappaleissa. AA-asfaltit, joita käytetään hiljaisissa asfaltissa eivät ole toistaiseksi yleisiä päällysteitä, mutta niiden käytön voidaan olettaa yleistyvän, koska niiden avulla voidaan alentaa melupäästöjä.

3.5. Asfalttibetoni (AB)

AB-asfaltti on yleisin ja monikäyttöisin asfalttipäällyste, jota käytetään pihoiden, tonteilla, eri tyyppisillä kaduilla ja teillä jne. AB-asfaltti on rakeisuudeltaan jatkuvakäyräinen, eli sen kiviainekset koostuvat esimerkiksi 0-16 mm kiviaineksista. AB-asfaltin kulutuskestävyyteen ja ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa kiinnittämällä huomiota käyttökohteen vaatimuksiin, kiviaineksen laatuun, kiviaineksen rakeisuuteen ja bitumin määrään. Vilkkaammin liikennöidyille kulutuskestävyyttä vaativille teille tulisi valmistaa AB-asfaltti, jonka kiviaineksen maksimiraekoko olisi karkeampi (esim. AB 16-20). Vähemmän liikennöidyille kaduille ja kevyen liikenteen väylille voidaan valmistaa AB-asfaltti hienompirakeisista kiviaineksista (esim. AB 6-11), koska tällöin asfaltin heikompi kulutuskestävyys ei vaikuta juurikaan asfaltin kulumiseen. Samalla kuitenkin saavutetaan sileämpi ja helpommin puhdistettava pinta.



Kuva 3. AB-asfaltti koostuu eri kokoisista kivirakeista. Mittakaavan halkaisija 30 mm.

3.6. Kivimastiksiasfaltti (SMA-asfaltti)

SMA-asfaltit (esim. SMA 16-20) ovat yleinen päällystetyyppi vilkkaasti liikennöidyillä kaduilla ja teillä, joilla ajonopeudet ovat yli 80 km/h. SMA-asfaltit valmistetaan

katkaistuista kiviaineslajitteista ja SMA-asfaltit sisältävät runsaasti karkeampia kivirakeita, jotka muodostavat asfalttiin vahvan lukkiutuvan rakenteen, jonka ansiosta SMA-asfaltti ei deformoidu helposti raskaan liikenteen alla. Karkeiden kivirakeiden yhteenliittämiseen ja lujan kivirakeiden välisen tartunnan luomiseen tarvitaan "paksu mastiksi", joka koostuu bitumista, täytejauheesta sekä selluloosakuiduista. Koska SMA-asfaltti koostuu karkeammista kivistä, on siinä asfaltin painoon nähden vähemmän kuluvia kivien pintoja kuin hienompirakeisista kivistä valmistetuissa asfalttimassoissa. Tämän vuoksi SMA-asfaltti kestää parhaiten nastarenkaiden aiheuttamaa kulutusta.

SMA-asfaltin pinnalla on runsaasti koloja, mutta asfaltissa ei ole avointa rakennetta päällystekerroksen läpi. Pinnan kolot muodostavat asfaltin ja hiekoitushiekan kulumistuotteille varaston, jota on vaikea puhdistaa nykyisin käytössä olevilla puhdistusmenetelmillä. VIEME-tutkimuksessa selvitetään, onko hyvän kulutuskestävyyden omaava SMA-asfaltti paras vaihtoehto taajamien asfalteiksi sen huonon puhdistettavuuden johdosta (Kuva 4). Vertaa SMA- ja AB-asfalttien eroa pinnan karkeuden suhteen (kuvat 3 ja 4).



Kuva 4. *SMA-asfaltin teräväsärmäisten mustien kivirakeiden välitilat toimivat katupölyvarastoina (kuvassa vaalean harmaata ainesta), joita on hankala puhdistaa. Mittakaavan halkaisija 30 mm.*

3.7. Hiljainen asfaltti

Hiljaisia asfaltteja käytetään varsinkin silloin, jos alueelle ei voida rakentaa meluesteitä. Hiljainen asfaltti ei ole tietty asfalttityyppi, vaan asfaltin hiljaisuus ja sen vaikutus ympäristön melutasoon on toiminnallinen ominaisuus. Nina Raitasen äskettäin ilmestyneen tutkimuksen (Raitanen, 2005) mukaan hiljaisuus voidaan asfaltissa saavuttaa karkeasti kolmella eri tavalla: 1) lisäämällä huokosia, jotta ilma ei puristu renkaan ja tien väliin, 2)

tekemällä pinnasta sileä, jolloin makrokarkeus pienenee tai 3) yhdistämällä edellä mainitut tekijät. Asfaltin pinnan sileys toteutetaan käyttämällä asfaltin valmistuksessa hienorakeisempia kiviaineksia ($< 8\text{mm}$). Hiljaisia asfaltteja voidaan valmistaa näin ollen esimerkiksi avoimina asfaltteina tai SMA asfaltteina.

Kehitysprojektien seurauksena on opittu valmistamaan kulutuskestäviä hiljaisia asfaltteja. On kuitenkin huomioitava se tosiasia, että asfalttien kulumisen johtuu suurelta osin kiviainesten mekaanisfysikaalisista, geologisista ja rakeisuusominaisuuksista. Tämän johdosta hienorakeisista kiviaineksista valmistettuja hiljaisten asfalttien kiviainesvalintoihin tulee kiinnittää erityistä huomiota. Esimerkiksi jokaisesta korkealaatuisesta suomalaisista karkean SMA asfaltin kiviaineksista (kuulamylyarvo < 7 , testattu kiviainesfraktiosta 11.2/16 mm) ei kyetä valmistamaan hyvän kulutuskestävyyden omaavia hiljaisia päällysteitä. Hiljaisten asfalttien kiviainesmateriaaleina toimivat parhaiten hienorakeiset (mineraalin raekoko $< 1\text{ mm}$) intermediääriset ja happamat vulkaniitit sekä puolipinnalliset juonikivet.

4. Melun leviäminen ja mallinnus

4.1. Osion yleiskuvaus

Edellä käsiteltyjen melun lähimittausten ohella tutkitaan melun säteilyä ja leviämistä tien ympäristöön. Tutkimusmenetelminä ovat sovelletut ja laajennetut ohiajomittaukset sekä mallilaskenta erityisesti EU:n uudella Harmonoise-laskentamallilla. Lisäksi tutkitaan näiden yhteen sovittamista eli lähi- ja ohiajomittausten tulosten muokkaamista uuden laskentamallin tarvitsemiksi lähtöarvoiksi. Mallinnuksen ja leviämismittausten vertailun avulla selvitetään myös melun lähileviämistä valituissa tutkimuskohteissa.

Vakiomittausmenetelmissä on viime vuosina tapahtunut merkittävää uudistumista. Menetelmiä on osaltaan vauhdittanut EU:n laskentamallin kehittäminen. Siinä ajoneuvon melupäästöä kuvataan usealla eri osalähteellä, joiden äänitehotaso esitetään spektrinä terssikaistoittain. Tutkimuksen tässä osassa käytetään perusmenetelmänä melupäästön eri osalähteiden mittauksiin tarkoitettuja uusia menetelmiä. Lisäksi menetelmiä täydennetään käyttämällä useampia mittauspisteitä ja -kanavia. Mittausten analyysissä sovelletaan kehittyneitä signaalinkäsittelymenetelmiä, joilla mm. pyritään määrittämään vierintämelun eri osalähteiden osuuksia sekä melupäästön suuntaavuutta.

Myös moottorimelua sivutaan siltä osin, kuin hiljaiset päällysteet kykenevät vaimentamaan auton alta heijastuvaa melua. Päällysteiden vaimennuskyvyn luonnehdintaa varten testataan pinnan absorption mittauksiin kehitettyjä erityismenetelmiä. Absorptiotietokin on mahdollista syöttää uuteen laskentamalliin.

Mittausten ohella tämän osion toinen päätavoite on siis selvittää melutietojen kytkentää EU:n Harmonoise-malliin. Konkreettisena lopputavoitteena on, että hiljaisten päällysteiden tai hiljaisten renkaiden tuoma mahdollinen hyöty voidaan esittää melulaskentamallien avulla meluvyöhykkeiden muutoksina.

Tätä osuutta käsiteltiin alustavasti jo HILJA-projektissa, mutta selvityksen jatkaminen ja syventäminen on edelleen tärkeää, sillä sekä laskentamalleissa ja mittausmenetelmissä on HILJA-projektin päättymisen jälkeen tapahtunut kehitystä. Tällaista tietoa tarvitaan myös, jotta hiljaisten päällysteiden käytön yleistymistä voitaisiin edistää. Uusia tietoja pyritään saamaan mallin vierintämelua koskevan lähdeosan ja leviämisosan keskinäisestä sovituksesta. Tiedot koskevat välittömästi tässä työssä tutkittavia kotimaisia hiljaisia päällysteitä ja renkaita, mutta myös tulosten yleistettävyyttä käsitellään.

4.2. HILJA-projektin jatko

HILJA-projektissa käsiteltiin mm. hiljaisten päällysteiden hyödyn osoittamista melun leviämismallinnuksen avulla (Kelkka ym., 2003). Yhtenä projektin tuloksena esitettiin laskentataulukot, joilla voitiin laskea lähi- tai ohiajomittauksen tuloksesta nykyisen pohjoismaisen tiemelumallin lähtöarvo (yksi luku).

Laskentamallitilanne on projektin päätyttyä muuttunut merkittävästi. EU:n Harmonoise-malli on valmistunut ja julkaistu. Tässä työssä on tarpeen pyrkiä tekemään (tai mahdollisesti vain ottamaan käyttöön muualla jo tehdyt) vastaavat muunnokset Harmonoise-mallille. Tarvittavan lähtöarvotiedon määrä on kasvanut valtavasti: yhden luvun sijaan lähtöarvoiksi tarvitaankin 2×27 lukua.

4.3. Laskentamallit

4.3.1. Liittyminen VIEME-projektiin

Renkaiden ja tienpäällysteiden välisen kosketuksen eli vierintämelun lähimittauksilla (ns. CPX-menetelmä) tai ajoneuvojen ohiajomittauksilla (mm. SPB-menetelmä) saadaan välitöntä tietoa mitattavan yhdistelmän meluisuudesta ja luokittelusta. Kokonaishyödyn arviointi on kuitenkin tarpeen tehdä melun kohteissa. Tätä varten tarvitaan laskentamalleja.

4.3.2 Pohjoismainen tiemelumalli

Tällä hetkellä Suomessa käytetty pohjoismainen tiemelumalli on pysynyt olennaisesti samana vuodesta 1981 lähtien. Ajoneuvoja on kahta tyyppiä: kevyet ja raskaat. Äänilähdetyyppejä on vain yksi: viivalähde 0,5 m korkeudella tien pinnasta. Mallin viimeksi täydennettyyn vuoden 1996 versioon lisättiin yhden sijasta 17 kpl tienpäälystetyyppejä (Road traffic noise, 1996).

4.3.3 Nord2000

Pohjoismaisen mallin kehittämistyön tuloksena vuonna 2002 valmistui täysin uusittu malli (Jonasson ja Storeheier, 2001). Sitä ei kuitenkaan ole otettu virallisesti käyttöön, koska EU käynnisti pian tämän jälkeen yhteisen mallin laatimistyön. Nord2000-malli ja muut projekteissa kertyneet tiedot ovat muodostaneet kenties tärkeimmän perustan EU:n mallille.

Nord2000-mallissa melulähteen päästö- ja melun leviämisosat ovat täysin erillisiä. Lähteet ovat pistelähteitä, joita sijoitetaan tielle riittävän tiheästi. Ajoneuvot mallinnetaan kolmena eri korkeudella olevana osalähteenä, joille kullekin määritetään melupäästö äänitehotasona terssikaistoittain.

4.3.4 Harmonoise

EU:n Harmonoise-laskentamalli valmistui helmikuussa 2005 (Harmonised accurate and reliable methods, 2005). Se on rakenteeltaan ja ratkaisuiltaan suurelta osin suoraan tai hieman muokattuna peräisin Nord2000-mallista. Suomi ei osallistunut laskentamallin laadintaan.

Ajoneuvot mallinnetaan kahtena eri korkeudella olevana osalähteenä, joista alempi on lähellä tienpintaa ja toinen korkeammalla. Kummallekin osalähteelle määritetään melupäästö seuraavasti. Päästöä luonnehditaan painetason sijasta äänitehotasona. Päästö tunnetaan ja melu lasketaan spektrinä 27:llä terssikaistalla. Kummankin osalähteen päästöstä osa on peräisin moottorista ja osa tiekosketuksesta; osuuksien keskinäiset painoarvot eroavat (Work Package 1.1., 2004).

Lisäksi päästöllä on suuntaavuutta vaaka- ja pystysuunnissa. Vaakasuurtaavuudesta on mainittu, että se tunnetaan kohtuullisen hyvin. Pystysuurtaavuuden tietojen myönnetään olevan niukkoja. Mallin pystysuurtaavuus onkin toistaiseksi alustava. Tältä osin tässä osaprojektissa pyritään saamaan uusia tutkimustuloksia.

Ajoneuvoluokkia, joille päästöt ovat yhteisiä, on toistaiseksi määritelty vanhan mallin kahden sijasta 18 kpl. Päälysteluokkien määrä on auki; niitä on jo hyvin monta, ja luokkien määrää voidaan lisätä mittaustietojen kertymisen myötä.

Muita korjauksia on lukuisia: mm. lämpötila, pinnan märkyys, nastarenkaat, akselien lukumäärä. Tienpäällysteen absorption vaikutus sisältyy mallin leviämisosuuteen.

4.3.5 Lähtöarvojen muodostaminen

Kohtien 4.3.2 ja 4.3.4 vertailu osoittaa, että hyppäys pohjoismaisesta mallista EU:n uuteen malliin on huomattavan suuri. Toisin sanoen tässä tutkimuksessa tarvittava lähi- ja ohiajomittausten tulosten sovittaminen laskentamallin lähtötiedoiksi on merkittävästi laajempi tehtävä kuin HILJA-projektissa.

4.4. Mittausmenetelmät

4.4.1 Nordtest NT ACOU 109

Tämä menetelmä on kansainvälisen ohiajomenetelmän laajennus, joka on tarkoitettu lähinnä laskentamallien lähtöarvojen mittauksiin (NT ACOU 109 , 2001). Laajennus tarkoittaa käytännössä sitä, että mikrofoni pisteitä on yhden sijasta kaksi ja että mittaus tehdään terssikaistoittain kokonais-A-äänitason sijasta. Tämä menetelmä on myös tässä osatutkimuksessa käytettävä ja osin täydennettävä perusmenetelmä (Kuva 5).



Kuva 5. Nordtest-menetelmä laskentamallien lähtöarvojen mittaamiseksi. Ala- ja ylämikrofoni kuuluu uuteen NT-menetelmään ja keskimikrofoni SPB-perusmenetelmään.

4.4.2 Erityismenetelmät osalähteiden päästön tunnistamiseksi

Nordtest⁴ on paraikaa standardisoimassa ajoneuvon melupäästön osalähteiden erotte-
luun tarkoitetun uuden mittaussuomenetelmän (Nordtest project 1637-03, 2004). Se perustuu
edelliseen menetelmään ja laajentaa sitä lähinnä signaalikäsittelyn keinoin.

Tässä osiossa Nordtestin mittaussuomenetelmää sovelletaan edelleen laajemmin. Laajen-
nus merkitsee alustavasti vieläkin useampien mikrofonipisteiden käyttöä eri korkeuksilla.
Niillä tavoitellaan parempaa luotettavuutta ja pystysuuntaavuuden määrittäysmahdollisuutta.

Spektrianalyysi tehdään terssikaistojen lisäksi kapeakaistaisena ja koherentisti useampi-
kanavaisena. Näillä kehittyneen signaalianalyysin keinoilla voidaan tavallisessa
ohiajomittauksessakin erotella toisistaan melun eri osatekijöitä (moottori- ja vierintämelu).
Vierintämelusta päästään erittelemään eri syntymekanismien osuuksia. Nämä menetelmät
tarjoavat lukuisia lisämahdollisuuksia tulosten jatkokäsittelyyn ja tulkintaan.

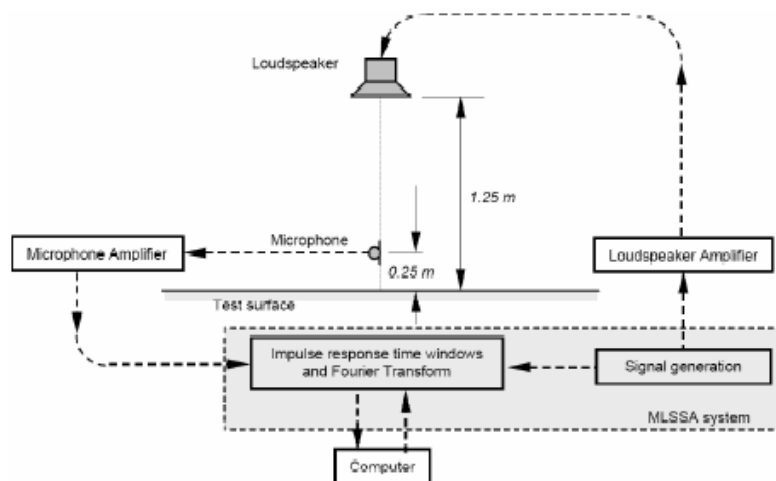
4.4.3 Tienpäällysteen absorptio (SILVIA)

Juuri päättyneessä SILVIA-projektissa yhtenä lisämittaussuomenetelmänä tutkittiin tien-
päällysteen ääniabsorption mittaamista (van Blockland ja Roovers, 2005). Tätä menetelmää
sovelletaan tässä osatehtävässä valituille koekohteille. Menetelmä on olennaisesti sama,
jota Akukon on käyttänyt huoneakustiikassa, mm. konserttisalien seinien absorption
määrittämiseen (kuva 6).

4.5. Leviämislaskennat ja –mittaukset

Tässä osiossa selvitetään mallinnuksen ja leviämismittausten vertailun avulla myös
melun lähileviämistä valituissa tutkimuskohteissa. Käytettävissä olevat laskentamallit
ovat pohjoismainen vakiomalli sekä EU:n Harmonoise. Akukonilla on käytettävissä
myös jälkimmäisen sisältämä tuore tietokoneohjelma. Kohteissa suoritetaan
leviämislaskentojen lisäksi edustavia leviämismittauksia hieman suuremmilla
etäisyyksillä (n. 10 – 30 m) kuin päästömittausten vakioetäisyyksillä. Nämä mittausten
ja laskentojen vertailut kytketään tienpäällysteen ja tien reunan lähialueen impedanssin
ja absorption mittaustietoihin. Olisi eduksi, jos jossakin kohteessa olisi tyypillinen,
edustava melueste, jonka akustiset ominaisuudet saataisiin samalla mitatuiksi.

⁴ Nordtest on Pohjoismaiden ministerineuvoston alaisen Pohjoismaiden Innovaatiokeskuksen (Nordisk
InnovationsCenter) testausorganisaatio.



Kuva 6. *SILVIA-menetelmä tienpäällysteen ääniabsorption mittaamiseksi.*

5. Katu- ja tiepöly

5.1. Pölyn muodostuminen ja lähteet

Keväinen katupöly on edelleen vaikeimpia ilmansuojelun ongelmia Suomessa, vaikka sen vähentämiseksi on tehty runsaasti työtä monissa kaupungeissa ja kunnissa. Lisääntyvien liikennemäärien myötä huoli liikenteen katupölypäästöistä on kasvamassa. Alan tutkimus on viime vuosina merkittävästi aktivoitunut paitsi Suomessa (esim. Kupiainen ym., 2005a ja 2005b) myös Euroopassa ja Skandinaviassa (esim. Gehrig ym., 2004; Lohmeyer ym., 2004; Luhana ym. 2004; Gustafsson ym., 2005; Omstedt ym., 2005).

Suomessa ovat voimassa Neuvoston direktiivin 1999/30/EY mukaiset ilmanlaadun raja-arvot, jotka on säädetty ihmisten terveyden suojelemiseksi (valtieneuvoston asetus

ilmanlaadusta 711/2001). Vuosiraja-arvo hengitettävälle hiukkasille (PM_{10}) on $40 \mu g/m^3$ ja vuorokausiraja-arvo $50 \mu g/m^3$, joka saa ylittyä vuoden aikana 35 kertaa. Sitovien raja-arvojen lisäksi Suomessa on voimassa valtioneuvoston päätös ilmanlaadun ohjearvoista (480/1996), jossa säädetään ohjearvot sekä hengitettävälle hiukkasille että hiukkasten kokonaisleijumalle (TSP = total suspended particulates). Ohjearvot on otettava huomioon ilman pilaantumisen ehkäisemiseksi suunnittelussa, kuten esimerkiksi maankäytön ja liikenteen suunnittelussa.

Euroopan komissio on antanut 21.9.2005 ehdotuksen uudeksi ilmanlaatua koskevaksi direktiiviksi (European Commission, 2005; Lahtinen, 2005). Keskeisin uudistus on pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) ottaminen mukaan säätelyn piiriin. Pienhiukkasille ehdotetaan pitoisuuskattoa $25 \mu g/m^3/v$, joka tulisi saavuttaa vuoteen 2010 mennessä. Kyseinen pitoisuuskatto vähentää kuitenkin vain kaikkein korkeimpia pitoisuuksia ja kohtuuttomimpia terveyshaittoja ja sen vuoksi sitä ei rinnasteta ilmanlaadun raja-arvoihin, vaikka pitoisuuskatto on sinänsä yhtä sitova kuin raja-arvot. Toinen pienhiukkasia koskeva tavoite on alentaa väestön pienhiukkasaltistusta 20 prosentilla vuosina 2010 – 2020.

Ilmassa leijuva pöly on erittäin merkittävä terveyshaitta. WHO:n (2000) mukaan ei ole terveydellisesti vaaratonta hiukkaspitoisuuden alarajaa, vaan haitat lisääntyvät lineaarisesti jo pienistä pitoisuuksista. Pienhiukkasten on arvioitu (Salonen, 2005) vuonna 2000 aiheuttaneen EU25-alueella n. 350 000 ennen aikaista kuolemaa (Suomessa 1270), 164 000 kroonista keuhkoputkentulehdusta (Suomessa 620), 100 300 sairaalaanottoa (sydän+keuhkosairaudet; Suomessa 383), lasten alempia hengitystieoirepäiviä 193 miljoonaa (Suomessa 779 000) ja 350 miljoonaa vajaakuntoisuuspäivää (Suomessa 1,3 miljoonaa). Pienhiukkasten aiheuttamat taloudelliset menetykset lasketaan nousevan 268-761 miljardiin euroon (Suomessa 1-2,9 miljardia €).

Suomessa pidetään yleisesti hiekoitushiekkaa pääasiallisena keväisen katupölyn aiheuttajana. Ulkomailla (mm. Japani, USA ja Norja) on kiinnitetty runsaasti huomiota nastarenkaiden aiheuttamaan asfaltin kulumiseen ja siitä syntyvään pölyyn, minkä vuoksi on rajoitettu nastarenkaiden käyttöä (Fukuzaki ym., 1986, Noguchi ym., 1995). Myös Suomessa on esitetty, että nastarenkaiden irrottamalla pölyllä saattaa olla huomattava vaikutus. Asfaltin kulumista on saatu vähennetyksi sekä asfalttimateriaalin että nastojen koon ja metallikoostumuksen muutoksella. Mäkelän (2000) arvioiden mukaan nastojen aiheuttama teiden kuluma tuottaa hienojakoista pölyä ilmaan $2\,100 - 10\,400 \text{ t/v}$. Määrä on varsin suuri, jos sitä vertaa Suomen kaikkien toimialojen hiukkaspäästöihin (PM_{10} -päästöt;

mukaanluettuna liikenne), jotka olivat 54 900 t vuonna 2003 (Suomen ympäristökeskus 2005). Merkittävä osa asfaltista peräisin olevasta hiukkasmassasta kasautuu vilkkaasti liikennöidyissä kaupunkikeskuksissa talvella katujen varsille ja nousee keväällä katujen kuivuessa lyhyen ajanjakson aikana ilmaan ihmisten hengityskorkeudella. Hiukkasmassan laskeuduttua takaisin katujen pinnoille se saattaa niistä nousta yhä uudelleen ilmaan. Siten pääosin sama hiukkasmassa voi aiheuttaa korkeita pitoisuuksia monena päivänä.

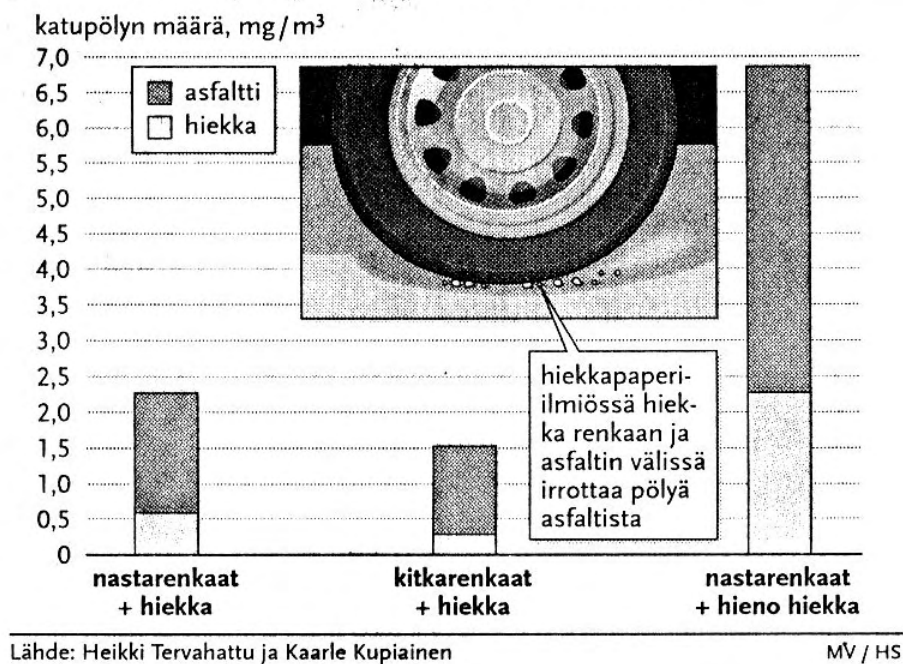
Katupöly koostuu pääosin mineraalihiukkasista, joiden osuus keväisessä katupölyssä vaihtelee välillä 50-80 prosenttia (Tervahattu ym. 2005). Muu osa hengitettävästä pölystä (PM_{10}) on peräisin monista eri lähteistä. Niistä tärkeimpiä ovat liikenteen pakokaasut sekä energiantuotannon ja teollisuuden päästöistä peräisin olevat hiukkaset, jotka ovat merkittävältä osaltaan kaukokulkeutuneita. Myös renkaiden ja muiden autosien kulumisen sekä asfaltin bitumi tuottavat hengitettäviä hiukkasia. Muita hiukkastyyppejä ovat mm. natriumkloridi (tiesuolauksesta ja merivedestä), kalsiumrikkaat hiukkaset monista eri lähteistä sekä rauta- ja muut metallihiukkaset. Hiukkasmassa sisältää myös kaduille kertyneet mikrobit, joilla voi olla osuutta hengityselimistöön kohdistuvissa terveydellisissä vaikutuksissa (Salonen ym. 2004).

Hengitettävien hiukkasten mineraaliaines on peräisin asfaltista ja hiekoitushiekasta. Osa pölystä syntyy siten, että renkaan ja tien pinnan välissä oleva hiekka kuluttaa asfalttia. Tätä prosessia kutsutaan hiekkapaperi-ilmiöksi ja sitä on havainnollistettu kuvassa 7. Se ilmenee selvänä kaikilla hiekoitus- ja asfalttilaaduilla. Koeolosuhteissa keskimäärin yli puolet PM_{10} -massasta oli peräisin asfaltista, mutta siitä hiukkasmassasta valtaosa syntyi hiekkapaperiefektin vaikutuksesta. Sekä renkaat että hiekoitusmateriaalit kuluttavat asfalttia ja tämä kulumistuote samoin kuin kaikki muukin riittävän kova irtain materiaali kuluttaa edelleen asfalttia niin kitka- kuin nastarenkaidenkin alla muodostaen lisää katupölyä. Lisäksi asfaltin kulumisen on moninkertaista määrällä tienpinnalla kuivaan verrattuna. Teiden suolauksella voi näin olla merkitystä katupölyn muodostumiseen etenkin katuosuuksilla, joilla ei käytetä hiekoitusta (Räisänen 2004). Kuitenkin sellaisillekin ajoväylille kulkeutuu hiekkaa jalkakäytäviltä ja muilta alueilta. On tärkeää tuntea kaikki tekijät, jotka liittyvät renkaiden, hiekoituksen ja asfaltin vuorovaikutukseen. Ne kaikki on otettava huomioon selvittäessä mahdollisuuksia vähentää katupölyn muodostusta.

Hiekoituksen määrällä on suuri vaikutus syntyvän pölyn määrään. Levitysmäärän kasvaessa lisääntyy pölyn muodostus sekä hiekoituksesta että asfaltin kulumisesta. Hiekoituksen on havaittu nostavan PM_{10} -pitoisuuksia heti hiekoitustapahtuman jälkeen

(Kantamaneni ym. 1996; Kuhns ym. 2003). Kuhns ym. (2003) mittasivat PM₁₀-pitoisuuksien laskeneen 8 tunnin jälkeen hiekoitustapahtumasta tasolle, joka vallitsi ennen hiekoitusta. Keväiset katupölyongelmat eivät kuitenkaan liity suoraan hiekoitustapahtumiin. Välillisesti mainittu materiaalin kulkeutuminen on tärkeää, sillä ajan kuluessa pölyä siirtyy esimerkiksi tienkohtiin, joilla ei liikennöidä – talvella myös lumivalleihin. Niistä tämä pölymateriaali sitten vapautuu keväällä lumen sulaessa ja aiheuttaa uudelleen hiukkaspitoisuuksien kasvun.

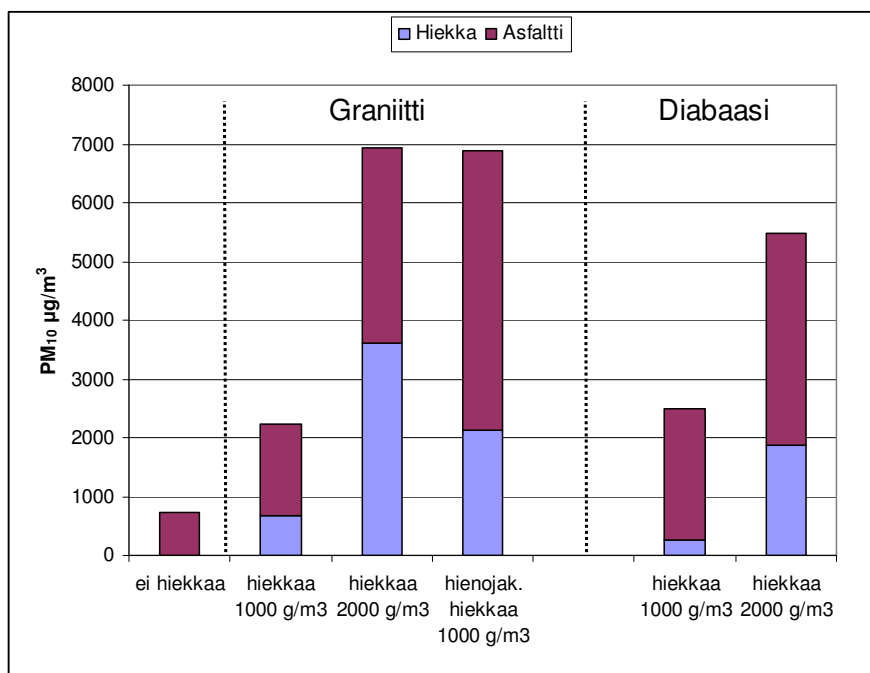
Pääosa



Kuva 7. Hiekkapaperi-ilmiön havainnekuva. Hiekoitus lisää suuresti hengitettävän pölyn määrää. Kuitenkin pääosa pölystä on peräisin asfaltista, joka jauhautuu pölyksi renkaiden alla hiekan vaikutuksesta. Hienojakoinen hiekka lisää suuresti pölyä (oikea pylväs) sekä asfaltista että hiekasta. Nastarenkaat tuottavat enemmän hienojakoista pölyä kuin kitkarenkaat.

Hiekoitusta ei useinkaan tehdä koko katuosuuksille, vaan se kohdistetaan bussipysäkeille, risteysalueille ja mäkiin. Pääkatujen liukkaudentorjunnassa käytetään yleensä suolausta, mutta myös hiekoitusta vaikeimmissa olosuhteissa (Helsingin pääkaduilla käytetään hiekoitusta, kun lämpötila laskee alle -6°C tai kun lumiolot sitä vaativat). Toisaalta ajoradoille leviää hiekkaa jalkakäytäviltä ja ajoneuvojen mukana hiekkaa kulkeutuu myös hiekoittamattomille katuosuuksille. Myös tuuli levittää hiekkaa

usein laajoillekin alueille. Hiekka ja muu irtain materiaali on siten talven ja kevään mittaan jatkuvassa kiertokulussa nousten välillä ilmaan ja laskeutuen taas uudelleen vähän eri kohteisiin.



Kuva 8. Havainnekuva asfaltin ja hiekan osuudesta katupölyn muodostuksessa. Kokeissa käytetty nastarenkaita sekä hiekoitusmateriaaleina Ämmäsuon graniittia (vasemmanpuoleiset pylväät) tai Eurajoen diabaasia (oikealla). Pääosa hengitettävästä pölystä muodostuu asfaltista. Hiekoitus lisää pölyn määrää, samoin hienojakoisen hiekan käyttö. Eurajoen diabaasilla muodostuu hiekoitusperäistä pölyä paljon vähemmän, mutta sen sijaan runsaasti asfaltista jauhautuvaa pölyä.

Katupölyn muodostuksen kannalta huomioitavia ovat myös hiekoitusmateriaalin ominaisuudet (Kupiainen ym. 2003a; Kupiainen ym. 2003b; Räisänen ym. 2003). Hiekoitusmateriaalin valinnassa tärkeää on erityisesti sen raekokojakauma (Kuva 8). Hienojakoinen hiekka lisää pölyn muodostusta karkeampiin murskeisiin verrattuna. Hiekoitusmateriaalin mineraalikoostumus on myös tärkeä etenkin iskunkestävyydeltään heikoilla (helposti murskaantuvilla ja jauhautuvilla) kiviaineksilla. Jos hiekoitusmurske on heikkoa ja se koostuu lisäksi pääasiallisesti kovista mineraaleista (esimerkiksi kvartsista) muodostuu hiekoitusmurskeen jauhautumisen seurauksena tehokas kuluttava "hiekkapaperimateriaali".

5.2. Asfaltin kiviaineksen ja renkaiden vaikutus pölyn muodostukseen

Asfaltin kiviaineksella on suuri vaikutus tien pinnan kulumiseen ja hengitettävän hiukkasmassan muodostukseen. Toisaalta kova hiekoitusmateriaali ei itse kulu voimakkaasti, mutta se saattaa kuluttaa sitäkin enemmän varsinkin heikompaa asfaltin kiveä. Siten hiekoitusmateriaalin kiviaineksen ja asfaltin kiviaineksen keskinäissuhteilla on tärkeä merkitys (Tervahattu ym. 2005).

Nastarenkaat kuluttavat tien pintaa enemmän kuin kitkarenkaat. Ero saattaa olla moninkertainen. Kuitenkaan nasta- ja kitkarenkailla ei ole olennaista eroa em. hiekkapaperiefektissä, sillä siinä koko renkaan pinnan vaikutus on ratkaiseva nastoihin verrattuna. Kaupunki-ilman laatu riippuu kunkin ajoneuvon renkaiden kulutuksen lisäksi tien pinnalla olevan pölyn nousemista ilmaan. Tätä ns. resuspensiota tapahtuu kaiken aikaa, kun pöly laskeutuu taas takaisin tien pinnalle. Ajoneuvon aikaansaama resuspensio saattaa olla kertaluokkaa suurempi kuin sen aiheuttama hiukkasten muodostuminen.

Resuspension ollessa hallitseva ilmaan tulevan hengitettävän pölyn määrän suhteen on tarpeen kiinnittää huomio erilaisten päällysteiden ja renkaiden osuuteen resuspensiossa. Jos päällysteen pinta on tasainen ja siinä on vähän koloja, joihin hiukkasmassaa voi kertyä, muodostuu resuspensio todennäköisesti pienemmäksi. Tällainen päällyste saattaa myös olla helpommin sekä itsepuhdistuva että puhdistettavissa.

Näin ollen erilaisten päällysteiden vaikutus ilman laatuun ei riipu pelkästään päällysteen kulumisesta vaan myös sen muista ominaisuuksista. Sama koskee renkaita. Erilaiset renkaat voivat poiketa toisistaan paitsi sen suhteen, miten ne kuluttavat tien pintaa ja muodostavat siitä hiukkasia, myös sikäli, että niiden kosketus tien pintaan on erilainen ja siten vaikutus resuspensioonkin poikkeaa toisistaan. Voisi olettaa, että kitkarenkaalla on ”tiiviimpi” kosketus tien pintaan, mikä saattaisi lisätä resuspensiota.

6. Pienhiukkasten ja katupölyn mittaaminen

6.1. Nuuskijan käyttö liikenteen hiukkastutkimuksissa

Kaupungeissa ja tienvarsilla liikenne on merkittävä pienhiukkasten aiheuttaja. **Pakokaasuperäisiä pienhiukkasia** syntyy autojen moottoreiden polttoprosesseissa (nokimoodi), mutta myös sekundäärisesti pakokaasujen jäähtyessä ulkoilmaan (nukleaatiomoodi). **Katupöly** koostuu pääasiassa tienpinnan ja renkaiden vuorovaikutuksesta syntyvistä kulumistuotteista sekä jarruista syntyvästä metallipölystä,

siis ei-pakokaasuperäisistä hiukkasista, jotka liikenteen ilmavirtojen vaikutuksesta nousevat ilmaan (resuspensio). Liikenteen hiukkastutkimuksia voidaan tehdä paitsi kiinteillä mittausasemilla myös liikkuvilla laboratorioautoilla, joilla toimitaan liikennevirrassa ja suuremmalla aika- ja paikkaresoluutiolla (Kittelson ym., 2000; Bukowiecki ym., 2002; Pirjola ym., 2004a, 2004b; Vogt ym., 2003; Kolb ym., 2004).

Helsingin ammattikorkeakoulun (Stadia) Tekniikka ja liikenne –toimialan suunnittelemalla ja rakentamalla laboratorioautolla ”Nuuskija”, on vuodesta 2003 alkaen tehty mittauksia Helsingin keskustassa ja pääkaupunkiseudun moottoriteillä (Pirjola ym., 2004a, 2004b, 2005; Yli-Tuomi ym., 2005; Kuva 9).

Nuuskijan mittalaitteistoon kuuluu pienhiukkasten lukumäärän kokonaispitoisuutta ja kokojakaumaa mittaava sähköinen impaktori ELPI (Electrical Low Pressure Impactor), joka kykenee havaitsemaan 7 nm –10 µm kokoiset hiukkaset. ELPI pystyy rekisteröimään myös ohiajavien autojen lyhytkestoisten päästöjen suuret pitoisuudet. Nuuskijaan on lisäksi asennettu Helsingin yliopiston sähköiseen liikkuvuuteen perustuva luokittelija SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer) ja kondensaatiodinlaskuri CPC (Condensation Particle Counter), jotka pystyvät havaitsemaan vielä pienemmät (jopa 3 nm) hiukkaset.



Kuva 9. a) Nuuskija takaa-ajomittauksessa, b) hiukkasmittarit TEOM ja ELPI. (Valokuvat: Pasi Perhoniemi)

Halkaisijaltaan alle 10 µm olevien hiukkasten massapitoisuus PM_{10} mitataan TEOM:lla (Tapered Element Oscillating Microbalance, Series 1400A), kun taas $PM_{2.5}$ ja PM_1 saadaan laskennallisesti ELPI:n mittaustuloksista. TEOM tallettaa 30 s liukuvaa keskiarvoa 10 s välein.

Kaasumaisista päästöistä voidaan Nuuskijan laitekannalla mitata CO-, CO₂, NO- ja NO_x-pitoisuuksia. Tärkeätä taustatietoa tulosten analysointia varten saadaan satelliittipaikantimella (GPS) ja auton katolle sijoitetulla sääasemalla. Niiden tallentamasta

datasta saadaan ajoreitti, auton ja tuulen nopeudet suuntineen sekä ulkoilman lämpötila ja suhteellinen kosteus. Lisäksi web-kamera tallentaa kuvaa ajotilanteista. Nuuskijan-laitteiston tarvitsema sähköenergia tuotetaan akustolla tai verkkojännitteellä. Akusto latautuu myös ajon aikana ja täyteen ladattuna mittauksia voidaan tehdä yhtäjaksoisesti n. 5 tuntia.

Nuuskijassa on kolmenlaisia näytteenkeruuputkia ja –suuaukkoja: 1) liikennevirran yleiseen kartoittamiseen näyte kerätään tuulilasin yläpuolelta n. 2,4 m korkeudelta, 2) takaa-ajomittauksissa edellä olevan auton pakokaasupäästöt kerätään etupuskurin yläpuolelta n. 0,7 m korkeudelta, ja 3) rengaspölymittauksissa näyte kerätään vasemman (vetävän) takapyörän takaa.

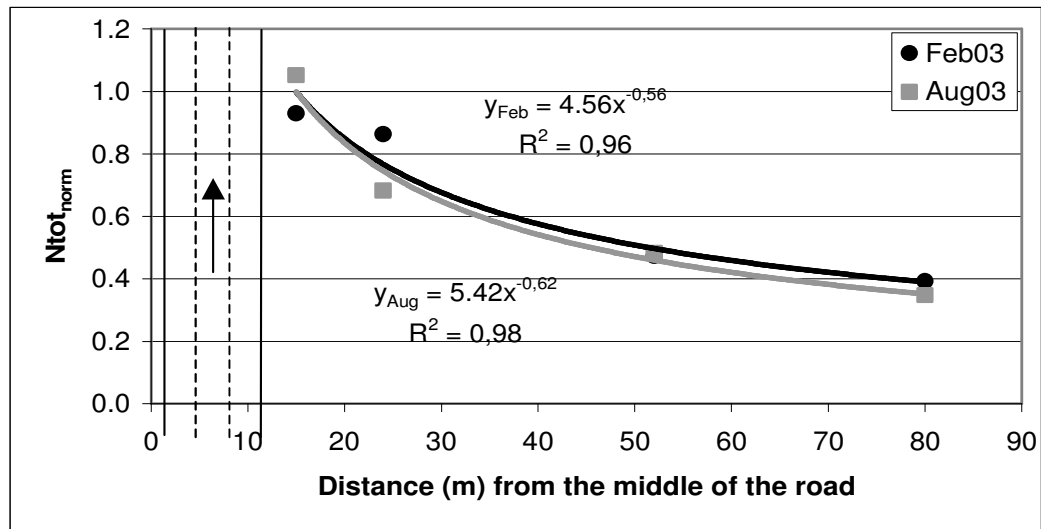
6.2. Pölyn leviämisen tutkimus Nuuskijalla

Nuuskijalla on mitattu liikennepäästöjä Helsingin Herttoniemessä Itäväylällä ja sen läheisyydessä. Kampanjat toteutettiin vuosina 2003 ja 2004 talvi- ja kesäolosuhteissa. Keskinopeus Herttoniemen sillan ja Siilitien tunnelin välillä on n. 70 km/h. Mittaukset tehtiin pääasiassa ruuhka-aikoina, jolloin liikennevirta oli 3500-4000 ajoneuvoa/h talvella ja 4300-4800 ajoneuvoa/h kesällä. Nuuskija ajoi liikennevirrassa nopeudella 40 km/h, pysähtyi bussipysäkeille, kesällä myös tien reunaan ja keskiruoholle. Liikennepäästöjen leviämistä tutkittiin eri etäisyyksillä tiestä n. 140 m matkalla tuulen suunnasta riippuen.

Kuvassa 10 on esitetty hiukkaspitoisuuksien keskiarvot talvella ja kesällä. Kuvaan on otettu mukaan vain ne arvot, jolloin tuulen suunta on ollut Itäväylälle poikittainen. Hiukkaspitoisuus on laskettu summana SMPS:n kokonaispitoisuudesta eli 3-50 nm kokoisista hiukkasista (diffuusiohäviöt korjattiin) ja ELPIn asteiden 3-12 kokonaispitoisuudesta (hiukkasten koko 56 nm - 10 µm). Tiellä suoritettujen mittausten keskiarvopitoisuus oli 183 400 cm⁻³ talvella ja 79 700 cm⁻³ kesällä, kun vastaavasti keskiarvoiset kaupunkitaustat olivat 16 200 cm⁻³ ja 7 100 cm⁻³.

Siirryttäessä tieltä kauemmas on havaittavissa voimakas pitoisuuden väheneminen. Selittävinä prosesseina on pääasiassa laimeneminen ja sekoittuminen ympäröivään ilmaan. Laimeneminen on voimakkaampaa kesällä, jolloin maanpintaa lähinnä olevan rajakerroksen korkeus ja siten sekoittumistilavuus on suurempi. Mittaustuloksiin on sovitettu käyrät, jotka on normitettu ykkösiksi tien reunaan (Kuva 10). Näistä huomataan, että siirryttäessä esimerkiksi 65 m tien reunasta keskimääräiset pitoisuudet ovat talvella

vielä 39 % ja kesällä 35 % tienreunalla mitatuista pitoisuuksista. Nämä pitoisuudet ovat vielä yli kaksinkertaisia verrattuna taustapitoisuuksiin (Pirjola ym., 2005).



Kuva 10. *Hiukkasten keskimääräinen kokonaispitoisuus Itäväylällä ja sen läheisyydessä talvella ja kesällä 2003.*

Nämä tulokset on syytä huomioida, kun suunnitellaan asuntojen rakentamista vilkasliikenteisten teiden varsille. Tutkimusta tarvitaan kuitenkin selvittämään melusteiden, tien pinnan (hiljaisen asfaltin yms.) ja eri rengastyypin vaikutusta pitoisuuksien leviämiseen. Nuuskija-autolla tehtyjen tutkimusten etuna on se, että leviämistä voidaan tutkia jo varsinaisesta päästölähteestä eli tiestä lähtien.

6.3. Katupölymittaukset Nuuskijalla

Nuuskija-autoon on rakennettu keräysjärjestelmä katupölypäästöjen mittaamiseksi auton alustan alta sekä tehty mittaukset näytteenkeräysteknologian ja mittausdatan laadun testaamiseksi. Nuuskijalla operointi on osoittautunut luotettavaksi. Katupölynäytteet kerätään Nuuskijan vasemman takapyörän (vetävä pyörä) takaa kartiomaiseen suuaukkoon (kuva 11) n. 10-20 cm korkeudelta maasta ja 5-7 cm päässä pyörästä. Näyte kulkee halkaisijaltaan 10 cm paksuisessa putkessa pystysuoraan auton katolle, jossa on polttomoottoripumppu, jolla saadaan putkeen 2000 lpm virtaus. Putkesta näyte haarautetaan isokineettisesti tuuman paksuisella putkella syklonin kautta ELPI:iin ja TEOM:iin laitteiden omilla pumpuilla (10 lpm ja 3 lpm). ELPI:llä mitataan hiukkasten kokonaislukumäärää ja lukumääräkokojakaumia sekä massapitoisuudet PM_{2.5} ja PM₁, TEOM:illa mitataan PM₁₀-massapitoisuutta (katkaisuraja on tarkemmin ilmoitettuna 9.2

μm). Systeemin läpi pääsee n. 80 % kartion keräämästä alle 9 μm kokoisten hiukkasten massasta.



Kuva 11. Katupölyn keräysjärjestelmä Nuuskijassa.

Ensimmäiset katupölymittaukset suoritettiin Helsingin keskustassa viime keväänä ja alkukesällä. Todettiin, että suuremmilla ajonopeuksilla pitoisuudet olivat korkeampia. Tietyillä katuosuuksilla pitoisuudet olivat huomattavasti korkeampia kuin muualla. Kevään aikana sateiden ja puhdistuksen myötä pitoisuudet pienenevät huomattavasti (Kupiainen ym., 2005b). Tutkimustuloksia voidaan hyödyntää mm. liukkaudentorjunta- ja katujen kunnossapitomenetelmien kehittämisessä vähemmän pölyäviksi. Lisäksi tietoa tuotetaan mallinnuksen tarpeisiin. Nuuskijan laitteisto soveltuu erinomaisesti VIEME-projektin pölytutkimustarpeisiin.

7. Hiukkasten leviämisen mallinnus

Suomessa, erityisesti Ilmatieteen laitoksella, on kehitetty ja evaluoitu hiukkasten leviämistä ja muutunutta kuvaavia malleja, jotka soveltuvat sekä paikallisen että alueellisen skaalan hiukkaspitoisuuksien arviointiin. Kehitettyjä malleja on myös kattavasti arvioitu, hyödyntäen erityisesti pääkaupunkiseudulla tehtyjä hiukkasten pitoisuusmittauksia.

7.1. Paikallisen mittakaavan mallinnus

7.1.1. Tilastolliset analyysit

Mallikehityksen tueksi on tilastollisia menetelmiä (pääkomponenttianalyysi, regressioanalyysi) hyödyntäen arvioitu, mitkä tekijät vaikuttavat merkittävimmin pääkaupunkiseudulla mitattuihin $\text{PM}_{2.5}$ ja PM_{10} -pitoisuuksiin (Pohjola ym. 2002; Hussein ym., 2005, Härkönen ym., 2005). Hiukkasten pitoisuuksiin vaikuttavia meteorologisia parametreja ovat mm. tuulen suunta ja nopeus, ilmakehän stabiilius, lämpötila, sademäärä

ja kosteus, ns. sekoituskorkeus, maanpinnan peitteisyys (lumi, jää, vesi, kuiva maanpinta), pilvisyys sekä turbulenssia kuvaavat suuret. Näitä analyysejä on myös käytetty hyväksi mm. analysoitaessa PM₁₀ huippupitoisuuksia ilmanlaadun episoditilanteissa aikana vuosina 1995 ja 2002 (Pohjola ym., 2004, Rantamäki ym., 2005, Kukkonen ym., 2005).

PM₁₀:n pitoisuuksilla on selkeä päivittäisvaihtelu ja paikallinen vaihtelu pääkaupunkiseudulla, mutta PM_{2.5}:n ajallinen ja paikallinen vaihtelu on huomattavasti vähäisempää. PM₁₀-pitoisuudet ovat suurelta osin peräisin paikallisesta ajoneuvoliikenteestä (suorat emissiot ja resuspensio); PM_{2.5}-pitoisuudet ovat puolestaan huomattavalta osin alueellista- ja kaukokulkeumaa.

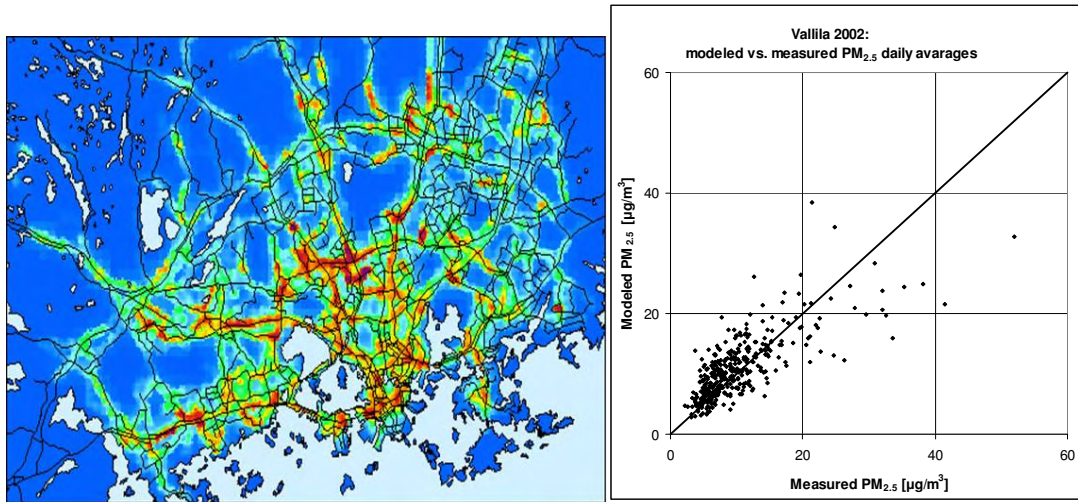
7.1.2. Leviämisen mallinnus sekä mallitulosten vertailu mittauksiin

Ilmatieteen laitoksella kehitettyyn maantieliikenteen leviämismalliin CAR-FMI on lisätty pienhiukkasten mallitus, ja mallia on sovellettu liikenteen suorien hiukkaspäästöjen aiheuttamien pitoisuuksien arvioimiseen (Härkönen, 2002). Lisäksi on kehitetty yksinkertainen menetelmä, jolla voidaan arvioida liikenteen epäsuoria, muita kuin pakoputkesta tulevia päästöjä hiukkaspäästöjä. Samoin on kehitetty ja testattu tilastollinen menetelmä väylien ja katujen lähiympäristön PM₁₀ pitoisuuksien arvioimiseksi. (Kukkonen ym., 2001).

Mallijärjestelmää liikennemäärien, päästöjen, leviämisen sekä väestöaltistuksen arvioimiseen on kehitetty ja laajennettu käsittämään myös kaupunkialueen pienhiukkaspitoisuuksien ja altistuksen arviointi. YTV:n liikenneosasto on liikenteen kysyntämallin (EMME/2) avulla arvioinut liikenteen päästöt nykytilanteessa (2002) ja erilaisissa liikennejärjestelmäsuunnitelmavaihtoehdoissa (2025). Näihin arvioihin perustuen arvioitiin liikenne- ja matkustajavirrat pääkaupunkiseudulla. Hyödyntäen uusia liikenteen päästökertoimia arvioitiin ilman epäpuhtauksien (PM, NO_x, HC ja CO) päästöt pääkaupunkiseuduilla eri vaihtoehdoissa.

PM_{2.5}-pitoisuudet on mallinnettu pääkaupunkiseudulle nykytilanteessa (2002) ja eri liikennejärjestelmäsuunnitelmavaihtoehdoissa vuodelle 2025. Laskelmat sisältävät kaikki hiukkaslähteet, kuten liikenteen polttoperäiset ja ei-polttoperäiset päästöt, kylmäkäynnistyspäästöt, kiinteiden lähteiden päästöt ja kaukokulkeutuneen taustan. Alueellinen jakauma on arvioitu hilapisteikköön, jonka resoluutio (hilapisteiden etäisyys toisistaan) vaihtelee välillä 10-500 metriä, riippuen siitä kuinka tiheästi liikennöidyllä

alueella laskentapisteen sijaitsevat. Mallinnetut $PM_{2.5}$ pitoisuuden vuosikeskiarvot 2002 on esitetty kuvassa 12a.



a)

b)

Kuva 12. Mallinnettu $PM_{2.5}$ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] pitoisuuksien vuosikeskiarvo (2002) pääkaupunkiseudulla(a); mitattujen ja mallinnettujen pitoisuuksien vertailu Vallilan mittausasemalla (2002) (b).

Leviämismallin tuloksia on vertailtu pääkaupunkiseudulla mitattuihin $PM_{2.5}$ pitoisuuksiin. Vuorokausiarvojen vertailu Kalliossa ja Vallilassa (Kuva 12b) osoitti mallin tulosten vastaavan hyvin mitattuja vuorokausikeskiarvoja.. (Karppinen ym., 2005a, b).

Tuloksista nähdään erityisesti se, että epäsuorien ja ei-polttoeräisten (jarrut, renkaat, tien pinnoite) hiukkaspäästöjen osuus on merkittävä polttoeräisiin verrattuna. Epäsuorien päästöjen mallinnustyötä paikallisessa skaalassa on jatkettu yhteistyössä pohjoismaisten tutkimuslaitosten (SMHI, Ruotsi; DMU, Tanska) kanssa. Vuoden 2005 aikana valmistui tarkennettu versio alun perin Ruotsissa kehitetystä päästömallista (Omstedt ym., 2005), jonka uskotaan parantavan mallin suorituskykyä erityisesti korkeimpien hiukkaspitoisuuksien ja erityisesti kevätpölyepisodien mallinnuksen osalta.

Tarkempaakin arviointia mallisysteemin eri osamallien toimivuudesta on tehty, mm. katukuilumallin laskentatuloksia on verrattu Runeberginkadulla mitattuihin arvoihin (Kukkonen ym., 2003).

7.1.3. Leviämismallien ja aerosoliprosessimallien yhdistäminen paikallisessa skaalassa

Aerosoliprosessimallilla MONO32 (Pirjola ja Kulmala, 2000) on arvioitu erilaisten aerosoliprosessien tärkeyttä käytännön pitoisuusarvioiden kannalta katu ympäristössä noin alle 100 m etäisyydellä päästölähteestä (Pohjola ym., 2003). Työssä on tarkasteltu kaasujen tiivistymisen ja haihtumisen, koagulaation ja pakokaasun laimenemisen vaikutusta pienhiukkasten lukumääräpitoisuuteen, kokojakaumaan ja kemialliseen koostumukseen. Näitä tietoja voidaan käyttää yhdistettäessä myöhemmin aerosoliprosessimallia laajempaan päästö- ja leviämismallijärjestelmään.

Aerosolimallia on sovellettu myös yhdessä leviämismallin kanssa paikallisen mittakaavan leviämisen (~ 1 km) aikana tapahtuvan hiukkasten muuntumisen mallittamiseen. Mallituloksia on verrattu Helsingissä Itäväylän varrella tehdyn mittauskampanjan tuloksiin (Pohjola ym., 2005).

7.2. Leviämismallinnus erilaisissa liikenneympäristöissä

Projektissa tullaan hyödyntämään, kehittämään ja testaamaan edellä kuvattuja paikallisen skaalan malleja, erityisesti CAR-FMI mallia, erilaisissa, oleellisesti avoimen väylän olosuhteista poikkeavissa tilanteissa: Melusteiden, rakennusten ja maastoesteiden vaikutusta hiukkasten leviämiseen tullaan hankkessa tutkimaan tarkemmin, hyödyntäen projektissa kertyvää mittausaineistoa näistä mallinnuksellisesti haastavammista liikenneympäristöistä. Vaikka jo aiemminkin on ollut käytössä lukuisia eri malleja, joilla esim. melusteen tai rakennusten vaikutusta leviämiseen voidaan arvioida, ei näistä ympäristöistä ole ollut aiemmin tarjolla riittävästi mitausaineista, jolla mallien toimivuutta olisi voitu luotettavasti arvioida. Yhdistämällä hiukkaspitoisuuksien mallinnuksen tulokset melumallinnuksen tuloksiin erilaisissa liikenneympäristöissä, saadaan kokonaiskuva siitä, kuinka erilaiset tekniset ratkaisut vaikuttavat

7.3. Yhteenveto hiukkasmallinnuksesta

Suomalainen pienhiukkasten leviämisen mallinnukseen osaaminen on tällä hetkellä kansainvälisestikin arvioiden erittäin korkeatasoista ja monipuolista. Evaluoidut mallisysteemit kattavat kaikki skaalat alueellisesta paikalliseen, lisäksi myös aerosoliprosessien mallinnus, jolla voi erityisesti paikallisessa skaalassa olla suuri merkitys, on kytketty osaksi mallisysteemejä.

8. Esiselvityksen johtopäätökset ja suositukset

Esiselvitys osoitti, että meluntorjuntatyön tueksi tarvitaan monilla osa-alueilla lisätietoa hiljaisten päällysteiden ja renkaiden ominaisuuksista, mahdollisuuksista ja vaikutuksista. Esiselvitysten yhteydessä syksyllä 2005 tehdyt tutkimukset osoittivat, että suunniteltu mittausjärjestelmä, jonka perustana on melumittaus NOTRA-vaunulla ja pölymittaus Nuuskija-autolla, toimii hyvin. Ensimmäiset mittauksien tulokset antoivat viitteitä siitä, että tällä projektilla on mahdollista tuottaa arvokasta lisätietoa hiljaisten päällysteiden ja renkaiden vaikutuksista ympäristömeluun ja ilman laatuun. Seuraavassa esitellään esiselvityksen johtopäätöksiä aihekohtaisesti ja niiden pohjalta nousseita tarpeita täydentää VIEME-projektin hankesuunnitelmaa (nämä muutosehdotukset kursivoitu).

1. Päällysteen vaikutus vierintämeluun

Esiselvityksessä on vahvistunut käsitys ympäristöolosuhteiden suuresta merkityksestä tieliikenteen ratkaisujen toiminnallisuuteen ja suorituskykyyn. Toisaalta tuotteiden keskinäisen vertailun tai hyväksynnän kohdalla vertailukelpoiset olosuhteet ovat välttämättömiä. Käytännössä tällöin tarkoitetaan kuivia ja suhteellisen lämpöisiä olosuhteita, jolloin hyväksyntä ja tuotteiden väliseen vertailuun liittyvät mittaukset tulisi suorittaa kesäkuukausina. Sama vaatimus voidaan ulottaa koskemaan myös tuotekehitysmittauksia, jotta saadaan vertailukelpoista tietoa.

Meluntorjuntatoimenpiteiden vertailun ja melun leviämisen arvioinnin kannalta on kuitenkin tarpeen saada käsitys siitä, miten melupäästö (renkaan ja tienpinnan yhteistoiminta) vaihtelee eri olosuhteissa. Toimenpiteiden tulisi toimia paikallisissa sääolosuhteissa ympäri vuoden mahdollisimman tehokkaasti ollakseen. Käytännössä ei kuitenkaan ole tämän tutkimushankkeen puitteissa mahdollista tehdä melumittauksia niin laajalla lämpötila- ja kosteusskaalalla kuin pääkaupunkiseudulla todellisuudessa esiintyy. Mittausten tulos tulee olemaan suuntaa-antava ja tulosten tarkka vertaileminen esimerkiksi hyväksyntämittausten tuloksiin ei ole mahdollista. Tehtävien mittausten ja niiden perusteella tehtävän analyysin tuloksilla voidaan kuitenkin olettaa saatavan uutta tutkimustietoa päätöksenteon ja valintojen tueksi. Niiden oletetaan myös antavan viitteitä mittauksiin sisältyvien epävarmuuksien määrästä ja siten vahvistavan ymmärtämystä mittaolosuhteiden vaikutuksista tuloksiin.

Esiselvitys on siten tuonut korostetuksi esille tarpeen suorittaa päällysteiden melututkimuksia eri vuodenaikoina ja erilaisissa sääoloissa.

2. Renkaan vaikutus vierintämeluun

Renkaiden lämpötilalla on vaikutus niiden synnyttämään meluun: mitä kylmempi rengas, sitä enemmän melua. Renkaan lämpötila taas seurailee ympäristön ja tienpinnan lämpötilaa, joten tämän muuttujan tarkastelu erityyppisillä renkailla tulee olemaan mielenkiintoinen yksityiskohta. Tällä tutkimuksella on mahdollista tuottaa merkittävää uutta tietoa varsinkin talvirengasvaihtoehtojen meluominaisuuksien vertailuun.

Syksyllä 2005 suoritettut mittaukset antoivat viitteitä siitä, että eri talvirengastyyprien meluominaisuuksien erot saattavat olla oletettua suuremmat. Tämä antaa aiheen panostaa tähän tutkimussektoriin.

3. Melun leviämisen tutkimus

Melun leviämistä koskevassa selvityksessä kiinnitettiin huomiota siihen, että renkaan perävaunumittauksesta saatava meluinformaatio kyllä asettaa renkaat ja/tai päällysteet keskinäiseen järjestykseen. Jos halutaan saada tietoa melun leviämisestä, melutasoista ja –alueista, tarvitaan avuksi laskentamalleja. Jos halutaan vielä tätäkin pidemmälle ja muuttaa suhteellinen informaatio absoluuttiseksi, tämä puuttuva osuus saadaan selville tien vierellä tehtävien ohiajomittausten avulla. Jos tutkitaan vain päällysteitä, riittää, että mitataan tienvarressa tavallista liikennevirtaa. Mutta jos tutkitaan myös renkaita, tarvitaan renkaiden kontrollia eli erikseen järjestettyjä ohiajoja tunnetuilla renkailla.

Tämän vuoksi *VIEME* - hankkeeseen on tarpeen sisällyttää ohiajomittauksia, joissa mitataan melupäästöä ja –tasoa samasta ajoneuvosta erilaisilla renkailla varustettuna. Mittaukset voidaan tehdä samoissa paikoissa kuin muutkin projektin tutkimukset, jolloin muun liikenteen ja moottorimelun osuudet poistetaan mittaussignaalien jälkikäsittelyn ja analyysin avulla. Täydentävä vaihtoehto on mitata erillisellä koeradalla, jossa pystytään suoraan eliminoimaan muun liikenteen meluvaikutus.

4. Päällysteen vaikutus hengitettävän pölyn määrään

VIEME-projektin keskeisenä tavoitteena on selvittää, muodostuuko hiljaisista päällysteistä tavallisia päällysteitä enemmän hengitettävää pölyä katu- ja tieympäristöön, kuten on oletettu siinä tapauksessa, jos hiljaiset päällysteet kuluvat nopeammin. Syksyllä 2005 tehtyjen mittausten perusteella ei löytynyt selvää trendiä, jonka perusteella hiljaiset päällysteet olisivat pölyämisen kannalta huonompia tai parempia kuin referenssipäällysteet. Kuitenkin sekä Kolkekankaantiellä että Konalantiellä hiljaisilta päällysteiltä mitatut

hengitettävän pölyn pitoisuudet olivat keskimäärin alhaisemmat kuin läheisillä tavallisilla päällysteillä.

Pitemmän ja monipuolisemman tutkimusaineiston avulla arvioidaan saatavan selvyyttä hiljaisten päällysteiden pölyn muodostukseen.

5. Renkaan ja päällysteen yhteisvaikutus ilman pölypitoisuuteen

Syksyn 2005 pölymittaukset antoivat uudenlaista tietoa siitä, miten kitka- ja nastarengas vaikuttavat katupölyongelmaan. Nastarengas tunnetusti kuluttaa enemmän kadun pintaa. Kuitenkin tien pinnasta ilmaan nousevan pölyn määrä (resuspensio) vaikuttaa olevan tieympäristön hallitseva päästökomponentti. Kitkarengas näyttää olevan nastarengasta tehokkaampi nostamaan tien pinnassa olevaa irtomateriaalia. Koska tien pinnalta resuspendoituvalla pölyllä on keskeinen merkitys ilmaan nouseville hiukkaspitoisuuksille, on tärkeää tuntee, miten pölyä kertyy erilaisten päällysteiden pinnoille ja miten se pysyy näillä pinnoilla. Hiljainen asfaltti saattaa poiketa tavallisista siten, että se pinnaltaan tasaisempana "varastoi" vähemmän pölyä. Se saattaa olla myös paremmin "itsepuhdistuvaa" (sateiden, tuulten ja liikenteen ilmapvirtausten johdosta) ja paremmin puhdistettavaa, millä seikoilla on huomattavaa merkitystä hiljaisten päällysteiden pölyongelmaa selvitettäessä.

Tehdyt mittaukset ja niistä syntynyt hypoteesi antaa aiheita panostaa hiljaisten päällysteiden ja eri rengastyypin merkitykseen pölyn muodostuksessa ja päällysteiden puhdistettavuudessa.

6. Melu ja pöly liikenteen ekoindikaattoreina ja elinkaaritarkastelussa

Esiselvityksen yhteydessä tehtiin INFRA 2010 –tutkimusohjelmaa varten selvitys VIEME –hankkeen toteuttamiskelpoisuudesta sekä sopivuudesta INFRA 2010 –tutkimusohjelmaan (ns. Feasibility Study). Selvityksessä korostui hiljaisten päällysteiden elinkaarinäkökulma. Siksi onkin tärkeää, että VIEME -tutkimushankkeessa kiinnitetään huomiota myös päällysteiden kulumiseen sekä melu- ja pölyominaisuuksien muuttumiseen pidemmällä aikavälillä.

On tarpeen tehdä alun perin suunniteltua enemmän tutkimuksia soveltuvissa HILJA-projektin kohteissa sekä jatkaa VIEME -hankkeen jälkeenkin mittauksia nyt aloitettavissa uusissa kohteissa.

Elinkaarikysymyksen selvittäminen toi myös esille tarpeen *pilottihankkeesta*, jossa hiljainen päällyste suunniteltaisiin tämän projektin tuottaman tiedon pohjalta ja valmistettaisiin loppukesällä 2006. Myös sitä koskeva tutkimus jatkuisi VIEME-projektin päätyttyä.

7. Melu ja pöly tieliikenteen hankintamenettelyprosessissa

Edellä mainitun toteuttamiskelpoisuusselvityksen perusteella pääteltiin, että pidemmälle aikavälille ulottuva hiljaisten päällysteiden ja renkaiden elinkaaritarkastelu voi tuoda mukanaan kustannussäästöjä ja tehokkuutta meluntorjuntatyöhön. Hiljaisten päällysteiden ja renkaiden ekologiset ja sosioekonomiset hyödyt voidaan myös paremmin ja niille kuuluvalla painoarvolla sisällyttää tienpidon hankintaprosessiin ja hankkeiden jälkiarviointiin. Näin tämä tutkimushanke sopii hyvin Tiehallinnon hankintastrategian kehittämispolkuun, jossa tällaisen arvioinnin työkalujen tarve on tullut ajankohtaiseksi. Myös tienpidon elinkaaritarkastelujen kehitysaikataulussa ekoindikaattorien ja ympäristötekijöiden arvioinnin perusteet on ajoitettu kehitettäväksi vuosina 2006-2007 (Korkiala-Tanttu ym. 2005).

VIEME-hankkeen tulosten perusteella on mahdollista kehittää liikenteen melu- ja pölyongelmia koskevaa ekoindikaattoritarkastelua. Näin saadaan työkaluja, joiden avulla nämä ympäristökysymykset voidaan sisällyttää hankintamenettelyprosessihin.

Kirjallisuusluettelo

- Alkio, R., Vuorinen, J. 1996. Kiviaineksen raemuodon vaikutus päällysteen kulutuskestävyyteen –Minikoetien ensimmäisen talven tulokset. Tielaitoksen selvityksiä 57, 26 s.
- Amundsen, A., Klæboe, R., 2005. A Nordic perspective on Noise reduction at the source. Institute of Transport Economics, Norwegian Centre of Transport Research. Oslo. 45 s.
- Bukowiecki, N., Dommen, J., Prévot, A.S.H., Richter, R., Weingartner, E., Baltensperger, U., 2002. A mobile pollutant measurement laboratory – measuring gas phase and aerosol ambient concentrations with high spatial and temporal resolution. *Atmos. Environ.* **36**, 5569-5579.
- European Commission, Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on ambient air quality and cleaner air for Europe, COM(2005) 444 final. Brussels, 21.9.2005.
- Euroopan komissio, 1996. Vihreä kirja tulevaisuuden melupolitiikasta. FI/11/303/96.
- Folkesson, L. 1992. Miljö- och hälsoeffekter av dubbdäcksanvändning. Litteraturoversikt. VTI meddelande 694, Swedish National Road and Transport Research Institute, Linköping, 36 p.
- Forsten, L., 2001. Melua vähentävät päällysteet; Asfaltti; Asfalttiliitto Ry:n julkaisu; Kesäkuu 2001; Nro 67; pp 16-18.
- Fukuzaki, N., Yanaka, T., Urushiyama, Y., 1986. Effects of studded tires on roadside airborne dust pollution in Niigata, Japan, *Atmos. Environ.* **20**, 377-386.
- Gehrig, R., 2004. PM10 Emission of Road Traffic from Abrasion and Resuspension Processes. Proceedings of the PM Emission Inventories Scientific Workshop. Lago Maggiore, Italy, 18 October 2004. Paper 15.
- Goetzke, M., 2005. Improved understanding of noise effects. ERA-NET Transport, position paper.
- Gustafsson, M., Blomqvist, G., Dahl, A., Gudmundsson, A., Ljungman, A., Lindbom, J., Rudell, B., Swietlicki, E., 2005. Inandningsbara partiklar från interaktion mellan däck, vägbana och friktionsmaterial. Slutrapport av WearTox-projektet. VTI-rapport 520, 97 p.
- Harmonised accurate and reliable methods for the EU Directive on the assessment and management of environmental noise. Final technical report D04-WP7-HAR7TR-041213-AEAT04. 2005.
- Hussein, T., Karppinen, A., Kukkonen, J., Härkönen, J., Aalto, P.P., Kerminen, V.-M., Kulmala, M., 2005. The dependence of urban particle number size distributions on meteorological parameters in Helsinki. *Atmospheric Environment*, *In press*.
- Härkönen, J., 2002. Regulatory dispersion modelling of traffic-originated pollution. *Finnish Meteorological Institute, Contributions* No. 38, FMI-CONT-38, ISSN 0782-6117, University Press, Helsinki, 103 p.
- Härkönen, J., Karppinen, A., Hussein, T., 2005. Development of a hybrid model for predicting particle number concentrations. *Abstract book of the conference: 2005 AAAR Particulate Matter Supersites Program and Related Studies*. Abstract 20B-1, p.164. (<http://www.aaar.org/PMAbstractBookDec29fnl.pdf>)
- ISO 11819-1 Standardiluonnos
- Jonasson, H. G., Storeheier, S., Nord 2000. New Nordic prediction method for road traffic noise. SP Rapport 2001:11.
- Kantamaneni, R., Adams, G. ym., 1996. The Measurement of Roadway PM₁₀ Emissions Rates Using Atmospheric Tracer Ratio Techniques. *Atmos. Environ.* **30**, 4209-4223.

- Karppinen, A., Kauhaniemi, M., Härkönen, J., Kukkonen, J., Kousa, A., Koskentalo, T., 2005a. Evaluation of a model for predicting fine particle concentrations. *Abstract book of the conference: 2005 AAAR Particulate Matter Supersites Program and Related Studies*. Abstract 10C-3, p.84.(<http://www.aaar.org/PMAbstractBookDec29fnl.pdf>)
- Karppinen, A., Kukkonen, J., Kauhaniemi, M., Härkönen, J., Nikmo, J., Sokhi, R.S., Luhana, L., Kousa, A., Alaviippola, B., Koskentalo, T., Aarnio, P., 2005b. Evaluation and application of a model for the urban and regional scale concentrations of PM_{2.5}, *Proceedings of the 5th International Conference on Urban Air Quality*, Valencia, 29-31 March 2005.
- Kelkka, M., Hyyppä, I., Raitanen, N., Valtonen, J., Sainio, P., 2003. Hiljaiset päällysteet – tuotevaatimukset ja mittarit, HILJA-projektin loppuraportti, TKK-TIEA55.
- Kestemoont, X., Luminari, M., Quaresma, L., Sandulli, D., 2000. Traffic Noise and Road Surfaces: State of the Art ; Belgian Road Research Centre, Brussels, March 2000
- Kittelson, D, Johnson, J., Watts, W., Wei, Q., Drayton, M., Paulsen, D., Bucowiecki, N., 2000. Diesel aerosol sampling in the atmosphere. SAE paper No. 2000-01-2212.
- Kolb, C.E., Herndon, S.C., McManus, J.B., Shorter, J. H. Zahniser, M.S., Nelson, D.D., Jayne, J.T., Canagaratna, M.R., Worsnop, D.R., 2004. Mobile laboratory with rapid response instruments for real-time measurements of urban and regional trace gas and particulate distributions and emission source characteristics. *Environ. Sci. Technol.* 38, 5694-5703.
- Korkiala-Tanttu, L., Törnqvist, J., Eskola, P., Pienimäki, M., Spoof, H., Mroueh, U.-M., 2005. Elinkaaritarkastelut tienpidon hankintoihin. Tiehallinnon selvityksiä 13/2005. 66 s.
- Kuhns, H. Etyemetzian, V., Green, M., Hendrickson, K, Gown, M. Barton, K., Pitchford, M. 2003. Vehicle-based road dust emission measurement – Part II: Effect of precipitation, wintertime road sanding and street sweepers on inferred PM₁₀ emission potentials from paved and unpaved roads. *Atmos. Environ.* 37, 4573-4582.
- Kukkonen, J., Härkönen, J., Karppinen, A., Pohjola, M., Pietarila, H., Koskentalo, T., 2001. A semi-empirical model for urban PM₁₀ concentrations, and its evaluation against data from an urban measurement network. *Atmospheric Environment* 35, pp. 4433-4442.
- Kukkonen, J., Kukkonen, J., Partanen, L., Karppinen, A., Walden, J., Kartastenpää, R., Aarnio, P., Koskentalo, T. and Berkowicz, R., 2003. Evaluation of the OSPM model combined with an urban background model against the data measured in 1997 in Runeberg Street, Helsinki. *Atmospheric Environment* 37 (8), pp. 1101-1112.
- Kukkonen, J., Pohjola, M.A., Sokhi, R.S., Luhana, L., Kitwiroon, N., Rantamäki, M., Berge, E., Odegaard, V., Slørdal, L.H., Denby, B., Finardi, S., 2005. Analysis and evaluation of local-scale PM₁₀ air pollution episodes in four European cities: Oslo, Helsinki, London and Milan *Atmospheric Environment* ,Special issue: Fourth International Conference on Urban Air Quality: Measurement, Modelling and Management, 25-28 March 2003, edited by Ranjeet Sokhi, 39(15), pp.2759-2773.
- Kupiainen, K., Tervahattu, H., Räisänen, M., 2003a: Experimental studies about the impact of traction sand on urban road dust composition. –*The Science of the Total Environment* 308, 175-184.
- Kupiainen, K., Tervahattu, H., Räisänen, M., Mäkelä, T., Aurela, M., Hillamo, R., 2003b: Katupölyn muodostuminen ja koostumus koeolosuhteissa. II vaihe. In: Nobell, S. (Ed.), *Liikenteen ja kuljetusten ympäristövaikutukset ja energiankäyttö MOBILE²* Vuosikirja, Espoo, ss. 197-215.
- Kupiainen K., Tervahattu H., Räisänen M., Mäkelä T., Aurela M. & Hillamo R. 2005a. Size and Composition of Airborne Particles from Pavement Wear, Tires, and Traction Sanding. *Environ. Sci. Technol.* 39, 699-706.

- Kupiainen K., Pirjola L., Tervahattu H. 2005b. Mobile Measurements of Spring-time Street Dust in Helsinki, Finland. In: Bäck (ed.) Symposium on Urban and Rural Air Pollution – Response of Ecosystem and Society (URPO) in Helsinki 14.11.2005. Report Series in Aerosol Science 77, pp. 78-83.
- Kurki, T., Manninen, M., Saarinen, L., 1992. Asfalttipäällysteen kuluminen Osa I. VTT Tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio n:o 58, 68 s.
- Kurki, T., Spoof, H., Malmivuo, M., Petäjä, S., Leinonen, J., 2004. Kunnossapitourakoiden toimivuusvaatimukset. Espoo. VTT tiedotteita 2268, 123 s.+liit.7 s.
- Lahtinen, T., 2005. Ilmanlaatudirektiivi kokoaa yhteen ilmanlaatua koskevan lainsäädännön. Ilmansuojelu 4/2005, 14-19.
- Leinonen, A., 2005. Tyre Rolling Resistance on Road DI-työ, TKK.
- Liikenne- ja viestintäministeriö, 2005: Liikenteen toimintalinjat ympäristökysymyksissä vuoteen 2010. LVM, Ohjelmia ja strategioita 4/2005. 41 s.
- Liikonen, L. ja Leppänen, P., 2005. Altistuminen ympäristömelulle Suomessa. Tilannekatsaus 2005. Ympäristöministeriö. 72 s.
- Lohmeyer, A., Bächlin, W., Düring I., 2004. Modelling of Vehicle Induced Non-Exhaust PM10 Emissions. Proceedings of the PM Emission Inventories Scientific Workshop. Lago Maggiore, Italy, 18 October 2004. Paper 14.
- Luhana, L., Sokhi, R., Warner, L., Mao, H., Boulter, P., McCrae, I., Wright, J., Osborn, D., 2004. Measurement of Non-exhaust Particulate Matter. Deliverable 8 of Particulates-project. European Commission, DG TrEn, 5th Framework Programme. 96 p.
- Mäkelä, K., 2000. Kirjallisuusselvitys nastarenkaiden irrottaman asfalttipölyn määrästä. VTT Yhdyskuntateknikka. Tutkimusraportti 538/2000. Espoo. 17 s.
- Nelson, P. M., Phillips, S. M., 1997. Quieter Road Surfaces, TRL Annual Review.
- Noguchi, I., Kato, T., Akiyama, M., Otsuka, H., Matsumoto, Y., 1995. The Effect of alkaline dust decline on the precipitation chemistry in northern Japan. Water, Air, Soil Pollut. 85, 2357-2362.
- Nordtest project 1637-03. Road traffic: Vehicle noise emission. Technical Report 2004-03-08.
- NT ACOU 109. Vehicles: Determination of immission relevant noise emission. Nordtest, Espoo 2001.
- Omstedt, G., Bringfelt, B., Johansson, C., 2005. A Model for Vehicle-induced Non-tailpipe Emissions of Particles along Swedish Roads. *Atmos. Environ.*, 39, 6088-6097.
- PANK (Päällyste alan neuvottelukunta) 2000. Asfalttinormit 2000. ISBN 951-97197-6-8, 74 s.
- Pirjola, L., Kulmala, M., 2000. Aerosol dynamical model MULTIMONO. *Boreal Environment Research*, 5, pp. 361-374.
- Pirjola, L., Parviainen, H., Hussein, T., Valli, A., Hämeri, K., Aalto, P., Virtanen, A., Keskinen, J., Pakkanen, T., Mäkelä, T., Hillamo, R., 2004a. "Sniffer" – a novel tools for chasing vehicles and measuring traffic pollutants. *Atmospheric Environment* **38**, 3625-3635.
- Pirjola, L., Parviainen, H., Lappi, M., Hämeri, K., Hussein, T., 2004b. A novel mobile laboratory for "chasing" city traffic. SAE-paper no 2004-01-1962.
- Pirjola, L., P. Paasonen, D. Pfeiffer, T. Hussein, K. Hämeri, T. Koskentalo, A. Virtanen, T. Rönkkö, J. Keskinen, T.A. Pakkanen, 2005. Dispersion of particles and trace gases nearby a city highway: mobile laboratory measurements in Finland. *Atmospheric Environment* (in print).
- Pohjola, M.A., Kousa, A., Kukkonen, J., Härkönen, J., Karppinen, A., Aarnio, P., Koskentalo, T., 2002. The Spatial and Temporal Variation of Measured Urban PM₁₀ and

PM_{2.5} concentrations in the Helsinki Metropolitan Area. *Water, Air and Soil Pollution: Focus* 2, pp.189-201.

Pohjola, M.A., Pirjola, L., Kukkonen, J., Kulmala, M.. 2003. Modelling of the influence of aerosol processes for the dispersion of vehicular exhaust plumes in the street environment. *Atmospheric Environment* 37 (3), pp. 339-351.

Pohjola, M.A., Rantamäki, M., Kukkonen, J., Karppinen, A., Berge, E.. 2004. Meteorological evaluation of a severe air pollution episode in Helsinki on 27 - 29 December 1995. *Boreal Environment Research*, Vol. 9, No. 1, pp. 75-87.

Pohjola, M.A., Pirjola, L., Kukkonen, J., Karppinen, A., Härkönen, J., Ketznel, M., 2005. Modelling of dispersion and aerosol processes in a roadside environment, and evaluation with measured data. *Proceedings of the 5th International Conference on Urban Air Quality*, Valencia, 29-31 March 2005.

Raitanen, N., 2005. Measuring of noise and wearing of quiet surfaces, doctoral dissertation, TKK.

Rantamäki, M., Gregow, E., Valkama, I., Karppinen A., 2005. Are current operative NWP-models able to provide the meteorological conditions for regulatory air quality models in Finnish episodic conditions? Proceedings of the 10th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Sissi, Crete, 17-20 October, 2005 , pp. 463-467.

Research for a Quieter Europe in 2020. An Updated Paper of the CALM Network, October 2004. European Commission, Research Directorate-General.

Road traffic noise. Nordic prediction method. TemaNord 1996:525, Nordic Council of Ministers, Kööpenhamina 1996.

Räisänen, M., 2004. From outcrops to dust - mapping, testing, and quality assessment of aggregates. Academic dissertation. Publications of the department of geology of University of Helsinki, D 1, 80 s.

Räisänen, M., Kupiainen, K., Tervahattu, H., 2003: The effect of mineralogy, texture and mechanical properties of anti skid and asphalt aggregates on urban dust. – Bulletin of Engineering Geology and the Environment. DOI: 10.1007/s10064-003-0200-y.

Räisänen, M., Kupiainen, K., Tervahattu, H., 2004. Suspended particles from industrial emissions and abrasion of anti-skid and asphalt aggregates in Lappeenranta, Southeastern Finland. In the 10th Nordic Aggregate Research Conference 8-10.9.2004 Tampere, Finland. 4 pp.

Salonen, R.O., 2005. Pienhiukkasten ja otsonin terveysvaikutukset. *Ilmansuojelu* 4/2005, 26-31.

Salonen, R.O., Hälinen, A.I. ym., 2004. Chemical and in vitro toxicological characterization of wintertime and springtime urban-air particles with an aerodynamic diameter below 10 µm in Helsinki. *Scand. J. Work Environ. Health*, 30 suppl.2, 80-90.

Sandberg, U., 1999. Low noise Road Surfaces – A State-of-the-Art Review. Reprint from the Journal (E) of the Acoustical Society of Japan, Vol 20, No.1, pp. 1-17.

Sandberg, U., Ejsmont, J., 1989. Development of Three Methods for Measurements of Tire/Road Noise Emission: Coast- by, Trailer and Laboratory Drum. *Julkaistu Noise Control Engineering Journal*. Vol 27, No 3. Institute of Noise Control Engineering , USA

Sandberg, U., Ejsmont, J.A., 2002. Tyre/road Noise Reference Hand Book, Informex..

SILVIA 1, Interaction of low-noise road surfaces with other noise control measures, Pucher, E. Habelr, J., Presentation 9, Silvia Seminar 23.8.2005 Bryssel

SILVIA 2, Measurement methods for road acoustics, Roovers, C., Ejsmont, J., Presentation 3a, Silvia Seminar 23.8.2005 Bryssel Descornet, G; Faure B; Hamet J-F;

SILVIA 3, Applying tyre/road noise modelling for evaluation purposes, Hamer, J-F., Presentation 5, Silvia Seminar 23.8.2005 Bryssel

SILVIA 4, D7Recommendation on specifications for tyre and vehicle requirements, SILVIA-TUW-039-03-WP5300304

SILVIA 5, D14, Measurement Methods, Van Blokland, G.J., Roovers M.S.

SILVIA 6, Low noise surfaces state-of-art, Sandberg, U., Presentation 6, Silvia Seminar 23.8.2005 Bryssel

SILVIA 7, Cost benefit analysis, Veisten, K., Presentation 8, Silvia Seminar 23.8.2005 Bryssel .

Suomen standardoimisliitto 2003. Kiviainesten testaus, SFS-käsikirja 157, 391 s.

Suomen ympäristökeskus, 2005. Ilman epäpuhtauksien päästöt Suomessa.

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=82002&lan=fi>

Tervahattu, H., Kupiainen, K., Räisänen, M., 2005. Tutkimuksia katupölyn koostumuksesta ja lähteistä. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja B 2005:12. 56 s.

TRL:n nettisivut osoitteessa www.trl.co.uk/noise-update.html; Traffic Noise Update 99.

van Blokland G J & Roovers M S, Measurement methods D14. SILVIA-M+P-015-02-WP2-14/07/05.

Vogt, R., Kirchner, U., Scheer, V., Hinz, K.P., Trimborn, A., Spengler, B., 2003. Identification of diesel exhaust particles at an Autobahn, urban and rural location using single-particle mass spectrometry. *J. Aerosol Sci.* **34**, 319-337.

Work Package 1.1. Source modelling of road vehicles. Technical report D09-WP1.1-HAR11TR-041210-SP10. 2004.

WHO (World Health Organization), 2000. Air quality guidelines for Europe. 2nd ed. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe. WHO regional publications, European series, no. 91.

Yli-Tuomi, T., Aarnio, P., Pirjola, L., Mäkelä, T., Hillamo, R., Jantunen, M., 2005. Emission of fine particles, NO_x, and CO from on-road vehicles in Finland. *Atmospheric Environment*, **39**, 6696-6706.

Ympäristöministeriö, 2004: Meluntorjunnan valtakunnalliset linjaukset ja toimintaohjelma. Suomen ympäristö 696.

LIITE 1. Vierintämelun mittausmenetelmistä

1. SPB- menetelmä

Ohiajomenetelmistä **SPB- menetelmää** on käytetty laajasti päällysteiden tutkimiseen Ruotsissa ja Englannissa jo 1970-luvulta lähtien. Englantilaisessa tutkimuksessa menetelmän eduksi mainitaan sen hyvä toistettavuus (Nelson ja Phillips). Menetelmä standardisoitiin vuonna 1997 ISO 11819-1- standardiksi; siinä mitataan normaalissa liikenteessä olevia ajoneuvoja, joista valitaan ne, joita muut eivät häiritse. Ajoneuvon tyyppi, nopeus ja maksimimelu kirjataan ylös. Normalisoitu äänentaso nopeuksille 50, 80 ja 110 km/h lasketaan regression avulla. Havaintoja kirjataan yli 100 henkilöautosta ja yli 80 raskaasta ajoneuvosta. Menetelmä soveltuu erityisesti päällysteiden tutkimiseen ja vertailuun sekä luokitteluun.

Mittauspaikalla tienpinnan tulee olla melko tasainen (kallistus $< 1\%$) ja suora 30 metriä mikrofonista kumpaankin suuntaan. Mikrofoni sijoitetaan 7,5 m päähän mitattavan kaistan keskikohdasta 1,2 m korkeuteen. Menetelmän etuna on, että mittaukset voidaan tehdä tietä sulkematta ja muuta liikennettä häiritsemättä. Mittaus koostuu yksittäisistä mittauksista pitkän ajan kuluessa, joten koe ei ole herkkä hetkelliselle taustamelulle. Jatkuva tai säännöllinen taustamelu estää mittauksen. Suuressa ajoneuvomäärässä eivät yksittäisten autojen ominaisuudet pääse korostumaan. Tulokset ovat usein myös kansainvälisesti vertailukelpoisia. Menetelmä on kallis ja työläs ja se soveltuu ainoastaan paikkoihin, jossa ei ole kaiteita, reunakiviä tai kasvillisuutta mittausalueella (Nelson ja Phillips, ISO 11819-1, TRL).

2. Yksittäisen ajoneuvon ohiajomittaus

Yksittäisten autojen ohiajomittausmenetelmiä ovat ISO 362, CB- ja CPB-menetelmät. ISO 362 (ja vastaavissa) kokeessa ajoneuvo ajetaan tien keskilinjaa pitkin aloituslinjalle tasaisella nopeudella. Linjalla aloitetaan täydellä kaasulla kiihdyttäminen, joka lopetetaan auton ohitettua 20 m päässä olevan linjan. Mittaukset tehdään aukealla alueella ja käytetyn päällysteen ominaisuudet on määritelty. Menetelmää käytetään lähinnä autojen meluominaisuuksien tutkimiseen ja hyväksyntämittaukseen kokonaisille ajoneuvoille.

Rengasmelun määrittämiseksi on edellisestä kehitetty CB-menetelmä (coast by), jossa ajoneuvo rullaa mittauksen aikana vapaasti ja moottori sammutettuna mittausjakson läpi, jolloin voidaan erottaa renkaiden ja tienpinnan kosketuksesta aiheutuva melu moottorin aiheuttamasta melusta. CPB-menetelmässä (controlled-pass-by) pieni joukko autoja ajaa

vakio nopeutta tutkittavalla pinnalla. Menetelmä ottaa siten huomioon esimerkiksi huokoisten päällysteiden kohdalla niiden moottorin ääntä vaimentava vaikutuksen (Sandberg ja Eismont, 2002).

3. CPX- menetelmä

ISO- standardoimisjärjestelmän puitteissa on toiminut työryhmä, joka on kehittänyt standardia (Draft ISO 11819-2) niin sanotun CPX menetelmän standardoimiseksi. Tässä menetelmässä renkaan ympärillä on kaksi mikrofonia ja se soveltuu erityisesti erilaisten päällystemateriaalien ja renkaan synnyttämän melun tutkimiseen. Testimenetelmässä testirengas on sijoitettu perävaunuun tai ajoneuvoon yhdeksi pyöräksi. Mikrofonit on sijoitettu renkaan lähelle. Tällöin taustamelun vaikuttavuutta saadaan vähennettyä huomattavasti. Jos lisäksi mittaus suoritettaisiin trailerilla, jossa mitattava rengas on erillisen kuomun alla, voidaan mittauksia suorittaa normaalissa, hiljaisessa liikenteessä. Maailmassa on noin parikymmentä tunnettua melunmittausperävaunua tai vastaavaa kokonaisuutta.

Menetelmän etuna on sen nopeus, samalla mittalaitteella saatujen tulosten vertailtavuus ja käyttökelpoisuus esimerkiksi katukuiluissa, joissa muut menetelmät eivät toimi. Menetelmän suurin vaikeus ja haaste ovat edelleen avoinna oleva kysymys mittarenkaan tai renkaiden määritelmästä. Eri vaunujen välinen vertailtavuus on yllättävän hyvää huolimatta rakenne-eroista (SILVIA 5). Standardi on luonnoksen asteella. Todennäköisesti mittarenkaan määrittely kysymys tullaan ohjeistamaan standardista erillisenä. Nykyinen ehdotus on käyttää neljää erilaista rengasta, joiden keskiarvo on ilmoitettava tulos. Näitä renkaiden ei kuitenkaan enää ole saatavilla joten on tarve löytää uusi tai uudet referenssirengaat, joiden saatavuus olisi varmistettu riittävän pitkäksi aikaa eteenpäin.

TKK:n Autolaboratoriolla on CPX-menetelmän standardiluonnoksen vaatimukset täyttävä melunmittausperävaunu HUT NOTRA[®] (Helsinki University of Technology Noise Trailer), joka soveltuu renkaan ja tien kosketuksesta syntyvän melun mittaamiseen normaalin liikenteen vallitessa.

Suomessa tehtyjen tutkimuksien kohdalla on käytännön syistä poikettu standardin ja standardiluonnoksen ohjeista sekä ohiajomittausten että vaunumittausten osalta. Ohiajomenetelmän kohdalla ei ole otettu raskaita ajoneuvoja mukaan, koska niiden esiintymistiheys on ollut suurimassa osassa koekohteita liian selkeästi harva. Vaunumittausten kohdalla poikkeama standardiluonnokseen on tehty mittarenkaan

kohdalla. Standardiluonnoksessa ehdotetaan neljän erilaisen renkaan tuloksen keskiarvottamista. Kuitenkin näistä renkaista yhtä ei ole saatavissa joten sen käyttäminen on ollut mahdotonta. Lisäksi neljän renkaan käyttäminen yhden sijasta olisi nostanut työmäärän lähes nelinkertaiseksi, mikä oli taloudellisesti mahdotonta.

4. Kehitteillä olevat menetelmät

Kehitteillä olevista menetelmistä mainitsemisen arvoisia ovat kaksi viimeksi SILVIA-projektissa laajemmin tutkittua menetelmää. Absorptiomenetelmässä (Extended Surface method, ISO 13472-1) mitataan päällysteen kykyä absorboida ääntä. Rakennusakustiikassa absorption mittaaminen on tunnettu menettely, mutta maantiellä tehtäviin mittauksiin sovelluksena se vaatii vielä kehittämistä. Esimerkiksi kaksikerrosrakenteiden kohdalle siitä todennäköisesti kehittyä tulevaisuudessa ainakin tutkimukseen ja tuotekehitykseen soveltuva työkalu.

Tien pinnan karheuden mittaaminen on klassinen menetelmä (ISO 13473-1,2,3), mutta karheuden ja meluisuuden välinen yhteys on mutkikkaampi. Yksinkertaistaen tietyn syvyyden ylittävien kolojen (ylittää tietyn karheusarvon) kohdalla rengas kokee ne samantarvoisina. Eli 5 mm kuoppa kivien välissä on renkaalle yhtä iso kuin 10 mm kuoppa. Ratkaisevaa on kuoppien pinta ala ja määrä.

Tien pinnan mekaaninen impedanssi ei ole perinteisillä päällysteillä merkityksellinen rengasmelun kannalta. Tuotettaessa hiljaisen päällysteen ominaisuuksia käyttämällä elastisuutta lisääviä ratkaisuja kuten rengasrouhetta mekaanisen impedanssin merkitys kasvaa. Menetelmässä vasaralla lyödään päällysteellä olevaa anturia ja mitataan lyönnin aiheuttamat värähtelyt. Karkeasti menetelmällä on yhteyksiä tien runkorakenteen testaamiseen falling weight menetelmällä, mutta mittakaava on eri. Menetelmä on toistaiseksi vain tutkimuksellinen (SILVIA 5).

Vierinvastuksen mittaaminen maantiellä luotettavasti on ollut pitkäaikainen haaste. Hiljaisten päällysteiden vaikutus vierinvastukseen on pitkälti arvelujen varassa ja seikka, jonka tutkimiseen kehitellään erilaisia ratkaisuja. Ajoneuvon sisällä alentunut melu johdattaa kuljettajan tunnelmaan, että auto ”rullaa kevyesti”. Luotettavia mittaustuloksia ei kuitenkaan vielä ole, mutta viitteitä alentuneeseen vierinvastukseen on (SILVIA 5, Leinonen 2005).